

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Željko Širanović

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Sanjin Mahović

Student:

Željko Širanović

Zagreb, 2012.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ŽELJKO ŠIRANOVIĆ**

Mat. br.: 0035961020

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **POSTUPAK UMJERAVANJA LIBELA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **PROCEDURE FOR CALIBRATION OF SPIRIT-LEVEL**

Opis zadatka:

1. Opisati sustav rada Laboratorija za precizna mjerenja dužina na području umjeravanja etalona i mjerila duljine i kuta.
2. Dati pregled konstrukcijskih i tehničkih karakteristika libela koje se najčešće koriste u industrijskoj praksi.
3. Razraditi metode provjere značajki odabranih tipova libela uzevši u obzir raspoloživu mjernu opremu u Laboratoriju.
4. Provesti ispitivanje točnosti libela na odabranom uzorku.
5. Na osnovu provedenih ispitivanja odabrati optimalne metode ispitivanja točnosti libela prema njihovoj namjeni i zahtijevanoj točnosti, te razraditi detaljne postupke umjeravanja.

U radu koristiti iskustva i materijale Laboratorija za precizna mjerenja dužina FSB-a, te navesti eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

13. rujna 2012.

Rok predaje rada:

15. studenog 2012.

Predviđeni datum obrane:

21. i 22. studenog 2012.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Sanjin Mahović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći stečena znanja tijekom studija na Fakultetu stojarstva i brodogradnje te navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Sanjinu Mahoviću na savjetima i stručnom vodstvu, asistentici dr. sc. Gorani Baršić na velikoj pomoći, konstruktivnim savjetima i korisnim raspravama,

stručnom suradniku Đoki Rušnovu na pomoći pri realizaciji postupaka mjerenja i korisnim savjetima te

svim djelatnicima Laboratorija za precizna mjerenja dužina FSB-a koji su nesebično bili spremni pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i mojim najmilijima, supruzi Petri i kćerkici Tei na uistinu beskrajnom strpljenju, razumijevanju i podršci tijekom svih ovih godina svog studija. Njima posvećujem ovaj rad.

Željko Širanović

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK	VIII
1. OPIS RADA LABORATORIJA ZA PRECIZNA MJERENJA DUŽINA NA PODRUČJU UMJERAVANJA DULJINE I KUTA	1
2. PRINCIP MJERENJA LIBELAMA	7
2.1. Cijevna libela	7
2.2. Kružna libela	9
3. PODJELA LIBELA PREMA KONSTRUKCIJSKIM IZVEDBAMA	11
3.1. Tehničke libele	11
3.2. Koincidentne libele	12
3.3. Kutne libele	13
3.4. Elektroničke libele	15
4. PREGLED KONSTRUKCIJSKIH IZVEDBI LIBELA S OSNOVNIM KARAKTERISTIKAMA PREMA PROIZVOĐAČIMA	17
5. RAZRADA METODA PROVJERE ZNAČAJKI ODABRANIH KUTNIH LIBELA	26
5.1. Primjer očitavanja vrijednosti na skali nonijusa diobene glave.....	27
5.2. Postupak umjeravanja kutne libele Carl Zeiss 3900	29
5.2.1. Utvrđivanje odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900	29
5.2.2. Postupak ispitivanja vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900	33
5.2.3. Postupak ispitivanja točnosti kuta kutne libele Carl Zeiss 3900 pomoću sinus lineala.....	35
5.2.4. Mjerenje ravnosti bazne površine kutne libele Carl Zeiss 3900	39
5.2.5. Postupak ispitivanja podjele skale na kutnoj libeli Carl Zeiss 3900	41
5.3. Postupak umjeravanja kutne libele Poland PZO Warszawa	45
5.3.1. Utvrđivanje odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa	45
5.3.2. Postupak ispitivanja vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa	49
5.3.3. Postupak ispitivanja točnosti kuta kutne libele Poland PZO Warszawa pomoću sinus lineala.....	50
5.3.4. Mjerenje ravnosti bazne površine kutne libele Poland PZO Warszawa ..	50
5.3.5. Postupak ispitivanja podjele skale na kutnoj libeli Poland PZO Warszawa	52
6. MJERNA NESIGURNOST	55
6.1. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900	56
6.1.1. Matematički model mjerenja.....	56
6.1.2. Procjena utjecajnih veličina	56

6.1.2.1.	Nesigurnost umjeravanja referentnog kuta optičke diobene glave $u(\alpha_{\text{ref}})$	56
6.1.2.2.	Nesigurnost izmjerene razlike kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene $u(\delta\alpha)$	57
6.1.2.3.	Nesigurnost uslijed procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave $u(\delta\alpha_D)$	58
6.1.2.4.	Nesigurnost uslijed namještana skale kutne libele $u(\delta\alpha_K)$	58
6.1.2.5.	Nesigurnost uslijed mehaničkih utjecaja $u(\delta\alpha_M)$	58
6.1.2.6.	Nesigurnost uslijed niveliranja ampule (staklene cijevi) s mjehurićem na kutnoj libeli $u(\delta\alpha_{KM})$	58
6.1.3.	Sastavljena standardna nesigurnost $u_c(\alpha_e)$	59
6.1.4.	Proširena mjerna nesigurnost	60
6.2.	Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa	61
ZAKLJUČAK		64
PRILOZI		66
Prilog 1:		67
BRITANSKI STANDARD (BS 958: 1968)		67
ZA UPOTREBU LIBELA U PRECIZNOM MJERENJU - PRIJEVOD		67
Prilog 2:		75
Fotokopije standarada BS 958: 1968 na engleskom jeziku.....		75
te DIN 877, DIN 2276 Part 1 i DIN 2276 Part 2 na njemačkom jeziku		75
Prilog 3:		76
POSTUPAK ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA.....		76
LITERATURA		77

POPIS SLIKA

Slika 1.	Planparalelne granične mjerke	3
Slika 2.	Etalonski mjerni prsten Joint	4
Slika 3.	Precizna staklena mjerna skala NPL, SM/RET 228-513	4
Slika 4.	Kutni poligon 2123/922249.....	5
Slika 5.	Kutni poligoni 12-298 (lijevo) i 10-296 (desno)	5
Slika 6.	Garniture kutnih mjerki KUT 9-295 (lijevo) i KUT 13-301 (desno)	6
Slika 7.	Mjerni cilindri (s lijeva na desno): RET 20-97, RET 19-96 i RET 19-95	6
Slika 8.	Prikaz staklene cijevi libele	7
Slika 9.	Prikaz cijevnih libela	8
Slika 10.	Prikaz kružnih libela.....	9
Slika 11.	Kružna libela	10
Slika 12.	Libela za poravnanje (lijevo) i okvirna libela (desno)	11
Slika 13.	Koincidentna libela.....	12
Slika 14.	Vidno polje kod koincidentne libele, ne vrhuni (gore) i vrhuni (dolje)	13
Slika 15.	Kutna libela	14
Slika 16.	Principijelna shema osjetnog elementa elektroničke libele.....	15
Slika 17.	Elektronički tip libele s objedinjenom elektronskom mjernom jedinicom	16
Slika 18.	Kutne libele Carl Zeiss 3900 (lijevo) i Poland PZO Warszawa (desno).....	26
Slika 19.	Prikaz diobene glave Carl Zeiss – Jena 3689 i kutne libele Carl Zeiss 3900.....	26
Slika 20.	Namještanje diobene glave na 30°	27
Slika 21.	Namještanje kutne libele Carl Zeiss 3900 u negativnom (-) smjeru na 30°	27
Slika 22.	Skala nonijusa kutne libele Carl Zeiss 3900 pozicionirana na 30°	28
Slika 23.	Primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost kuta od $29^\circ 59' 50''$	28
Slika 24.	Nulti položaj skale u stupnjevima na diobenoj glavi (lijevo) i skale nonijusa (desno)	29
Slika 25.	Nulti položaj nonijusa kutne libele (lijevo) i mjehura u staklenoj cijevi (desno) .	30
Slika 26.	Graf odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (+) smjer skale	31
Slika 27.	Graf odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (-) smjer skale	32
Slika 28.	Nivelirana koincidentna libela na granitnom linealu	33
Slika 29.	Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900.....	34
Slika 30.	Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900 zakrenute za 180°	34
Slika 31.	Mjerenje kuteva - sinus lineal	35
Slika 32.	Kutna libela Carl Zeiss 3900 i sinus lineal $200 \times \sin \alpha$	37
Slika 33.	Kut od 30° dobiven pomoću sinus lineala.....	38
Slika 34.	Utvrđivanje odstupanja mjehurića libele Carl Zeiss 3900 od nultog položaja za sinus lineal od 30°	38
Slika 35.	Odstupanje od ravnosti	39
Slika 36.	Očitavanje točaka mjernim ticalom na baznoj površini libele Carl Zeiss 3900.....	39
Slika 37.	Prikaz odstupanja od ravnosti mjernog niza broj 3 za libelu Carl Zeiss 3900	40
Slika 39.	Nulirani položaj koincidentne libele	41
Slika 38.	Prikaz pozicioniranja libele Carl Zeiss 3900 na nagibnom stolu radi ispitivanja podjele skale	41
Slika 40.	Kraj mjehurića tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale.....	42
Slika 41.	Kraj mjehurića tangira prvu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale.....	42

Slika 42.	Kraj mjehurića tangira drugu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale.....	43
Slika 43.	Kraj mjehurića tangira treću uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale	43
Slika 44.	Nulti položaj skale diobene glave i kutne libele Poland PZO Warszawa	45
Slika 45.	Namještanje kutne libele Poland PZO u negativnom (-) smjeru skale (lijevo) i skala nonijusa kutne libele Poland PZO pozicionirana na 10°	45
Slika 46.	Primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost 10° , (+) smjer kutne libele (lijevo) i očitavanje od 10° , (-) smjer (desno)	46
Slika 47.	Graf odstupanja od kuta libele Poland PZO, (+) smjer skale.....	47
Slika 48.	Graf odstupanja od kuta libele Poland PZO, (-) smjer skale.....	48
Slika 49.	Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa.....	49
Slika 50.	Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa zakrenute za 180°	49
Slika 51.	Očitavanje točaka mjernim ticalom na baznoj površini libele Poland PZO Warszawa	50
Slika 52.	Prikaz odstupanja od ravnosti mjernog niza broj 3 za libelu Poland PZO Warszawa	51
Slika 54.	Kraj mjehurića tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale.....	52
Slika 53.	Prikaz pozicioniranja libele Poland PZO Warszawa na nagibnom stolu radi ispitivanja podjele skale	52
Slika 55.	Kraj mjehurića tangira prvu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale.....	53
Slika 56.	Kraj mjehurića tangira drugu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale.....	53
Slika 57.	Kraj mjehurića tangira treću uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale	53
Slika 58.	Libela tip 1.....	68
Slika 59.	Libela tip 2.....	68
Slika 60.	Libela tip 3.....	69
Slika 61.	Prikaz podjele mjerne skale libele.....	72

POPIS TABLICA

Tablica 1. Područje akreditacije	1
Tablica 2. Pregled značajki tehničkih libela po proizvođačima	18
Tablica 3. Pregled značajki tehničkih libela po proizvođačima (nastavak)	19
Tablica 4. Pregled značajki okvirnih tehničkih libela po proizvođačima	20
Tablica 5. Pregled značajki okvirnih tehničkih libela po proizvođačima (nastavak)	21
Tablica 6. Pregled značajki koincidentnih libela po proizvođačima (1977. god.)	22
Tablica 7. Pregled značajki kutnih libela po proizvođačima	23
Tablica 8. Pregled značajki kutnih libela po proizvođačima (nastavak)	24
Tablica 9. Pregled značajki elektroničkih libela po proizvođačima	25
Tablica 10. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (+) smjer skale	31
Tablica 11. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (-) smjer skale	32
Tablica 12. Vrijednosti mjerenja odstupanja od ravnosti za libelu Carl Zeiss 3900	40
Tablica 13. Vrijednosti ispitivanja podjele skale za kutnu libelu Carl Zeiss 3900	44
Tablica 14. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO, (+) smjer skale	47
Tablica 15. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO, (-) smjer skale	48
Tablica 16. Vrijednosti mjerenja odstupanja od ravnosti za libelu Poland PZO Warszawa	51
Tablica 17. Vrijednosti ispitivanja podjele skale za kutnu libelu Poland PZO Warszawa	54
Tablica 18. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900	57
Tablica 19. Koeficijenti osjetljivosti	59
Tablica 20. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900	59
Tablica 21. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO Warszawa	61
Tablica 22. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa	62
Tablica 23. Prikaz rezolucija po tipovima libela	69
Tablica 24. Preporuke dimenzija za novoprojektirane libele	71
Tablica 25. Točnost izvedbe	73

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
μ	$^{\circ}$	centralni kut
L	pars	vrijednost podjele skale na cijevi libele
R	mm	radijus zakrivljenosti staklene cijevi
L'	-	os libele
T	-	tjeme libele
M	-	marka libele
S	-	središte zakrivljenosti kružnog luka
l_B	mm	dužina baze kutne libele
α	$^{\circ}$	postavljeni kut
l	mm	nazivna dužina sinus lineala
h	mm	dužina kombinacije planparalelnih graničnih mjerki
T_{ra}	μm	naznačeno odstupanje od ravnosti
t_E	μm	standardizirana tolerancija odstupanja od ravnosti
α_e	$^{\circ} ' ''$	kut umjeravane kutne libele
α_{ref}	$^{\circ} ' ''$	referentni kut optičke diobene glave
$\delta\alpha$	$^{\circ} ' ''$	izmjerena razlika kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene glave
$\delta\alpha_D$	$^{\circ} ' ''$	korekcija zbog procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave
$\delta\alpha_K$	$^{\circ} ' ''$	korekcija zbog namještanja skale kutne libele
$\delta\alpha_M$	$^{\circ} ' ''$	korekcija zbog mehaničkih utjecaja
$\delta\alpha_{KM}$	$^{\circ} ' ''$	korekcija uslijed nesigurnosti niveliranja s mjehurićem na kutnoj libeli
$u(\alpha_{ref})$	"	nesigurnost umjeravanja referentnog kuta optičke diobene glave
$u(\delta\alpha)$	"	nesigurnost izmjerene razlike kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene glave
s_i	$^{\circ}$	standardno odstupanje
s_p	$^{\circ} ' ''$	zbirna procjena standardnog odstupanja
$u(\delta\alpha_D)$	"	nesigurnost uslijed procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave
$u(\delta\alpha_K)$	"	nesigurnost uslijed namještana skale kutne libele
$u(\delta\alpha_M)$	"	nesigurnost uslijed mehaničkih utjecaja
$u(\delta\alpha_{KM})$	"	nesigurnost uslijed niveliranja ampule (staklene cijevi) s mjehurićem na kutnoj libeli
c_i	-	koeficijent osjetljivosti
$u(x_i)$	"	iznos standardne nesigurnosti
$u_c(\alpha_e)$	"	sastavljena standardna nesigurnost mjerene veličine

k	-	faktor pokrivanja
P	%	vjerojatnost
U	"	proširena mjerna nesigurnost
γ	"	vrijednost odstupanja podjele skale kutne libele

SAŽETAK

Cilj ovog rada je razrada postupka umjeravanja libela. S obzirom na raspoloživu opremu u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje za razradu postupka umjeravanja libela upotrebljene su dvije kutne libele. U zadatku su se, kao predmet umjeravanja koristile dvije kutne libele istih karakteristika no različitih proizvođača, te je razvijeni postupak umjeravanja izrađen upravo za tu grupu konstrukcijskih izvedbi libela. Za postupak umjeravanja korištena je kutna libela Carl Zeiss 3900 i kutna libela Poland PZO Warszawa.

U prvom dijelu rada opisan je sustav rada Laboratorija za precizna mjerenja dužina na području umjeravanja duljine i kuta te je dan pregled dostupnih i korištenih etalona za duljinu i etalona kuta.

Drugi dio rada opisuje osnovnu podjelu i princip mjerenja libelama, a zatim je opisana detaljna podjela libela prema konstrukcijskim izvedbama. Nadalje, dan je tablični pregled značajki konstrukcijskih izvedbi libela temeljem dostupnih informacija od strane aktualnih proizvođača.

Rad razmatra i detaljno obrađuje niz odabranih značajki provjere točnosti mjerenih kutnih libela te analizira i interpretira dobivene rezultate mjerenja.

Na osnovu provedenih ispitivanja izrađen je tehnički postupak koji detaljno daje smjernice razrade postupka mjerenja dimenzionalnih i funkcionalnih značajki kutnih libela. Također je dan i prijevod Britanskog standarda za upotrebu libela u preciznom mjerenju (BS 958:1968).

1. OPIS RADA LABORATORIJA ZA PRECIZNA MJERENJA DUŽINA NA PODRUČJU UMJERAVANJA DULJINE I KUTA

Radi razrade postupka umjeravanja libela neophodno je opisati sustav rada Laboratorija za precizna mjerenja dužina na području umjeravanja etalona i mjerila duljine i kuta (LFSB). Svrha ovog diplomskog rada je razrada metoda provjera značajki odabranih tipova libela s time da treba uzeti u obzir raspoloživu mjernu opremu Laboratorija za precizna mjerenja dužina FSB-a.

Laboratorij za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje (LFSB) je utemeljen daleke 1959. godine. Od samog početka u LFSB se njeguje mjerenje duljine, kuta i hrapavosti površina s visokom točnošću i to je temeljna odrednica Laboratorija. S tim u svezi u Laboratoriju se neprekidno ulažu naponi, posebice u okviru znanstvenih projekata, u cilju smanjivanja mjernih nesigurnosti.

LFSB se sastoji od dvije međusobno povezane cjeline: Nacionalnog laboratorija za duljinu i Centra za umjeravanje ACCREDIA. Nacionalni laboratorij za duljinu odgovoran je za osiguravanje sljedivosti za duljinu, kut i hrapavost u Republici Hrvatskoj. Laboratorij je nositelj nacionalnih etalona za duljinu i hrapavost.

Umjerni centar SIT 075 djeluje u sastavu Laboratorija za precizna mjerenja dužina. U Centru se provede umjeravanja etalona i instrumenata za duljinu sukladno akreditaciji ACCREDIA-e. Područje akreditacije prikazano je u tablici 1.

Tablica 1. Područje akreditacije

Mjerno sredstvo	Mjerno područje	Mjerna nesigurnost $k=2$, $P=95\%$
Uređaji i etaloni za ispitivanje hrapavosti	Ra od 0,008 μm do 30 μm	5%
	Ry i Rz od 0,025 μm do 100 μm	8%
Planparalelne granične mjerke	od 0,5 mm do 100 mm	$(0,05+1,1 \cdot L) \mu\text{m}$
Duge planparalelne granične mjerke	od 100 mm do 500 mm	$(0,35+1,0 \cdot L) \mu\text{m}$
Pomična mjerila	do 1000 mm	$(10 + 9 \cdot L) \mu\text{m}$

Nastavak tablice 1. Područje akreditacije

Mjerno sredstvo	Mjerno područje	Mjerna nesigurnost $k=2$, $P=95\%$
Mikrometar za vanjska mjerjenja	do 500 mm	$(1,2 + 5 \cdot L) \mu\text{m}$
Štapni mikrometri	do 3000 mm	$(1,6 + 8,5 \cdot L) \mu\text{m}$
Trokraki mikrometri	do 125 mm	$(1,5 + 4 \cdot L) \mu\text{m}$
Visinomjer	do 1000 mm	$(10 + 9 \cdot L) \mu\text{m}$
Dubinomjer	do 700 mm	$(7 + 8 \cdot L) \mu\text{m}$
Mjerna ura	do 100 mm	$(3 + 1,5 \cdot L) \mu\text{m}$
Komparator	do 1 mm	$0,7 \mu\text{m}$
Etalonski i kontrolni prsteni	od 8 mm do 150 mm	$(0,6 + 0,7 \cdot D) \mu\text{m}$
Štapni kontrolnici	do 500 mm	$(0,6 + 11,5 \cdot L) \mu\text{m}$
Granična mjerila za unutarnji navoj	-	do $3,026 \mu\text{m}$
Granična mjerila za vanjski navoj	$D_2 > 14 \text{ mm}$	$3,52 \mu\text{m}$
Granična mjerila za provrte	do 100 mm	$0,7 \mu\text{m}$
	od 100 do 200 mm	$1 \mu\text{m}$

Napomene:

Mjerna nesigurnost iskazana je uz interval povjerenja od 95 %.

Vrijednosti mjerene veličine L su u metrima.

Stanje mjeriteljstva duljine i kuta u LFSB danas je kako slijedi:

a) Duljina

Korištenjem garniture planparalelnih graničnih mjerki proizvođača Mahr i uz primjenu usporedbene metode mjerenja danas se mjerenje etalona duljine od 0,5 mm do 100 mm ostvaruje na razini mjernih nesigurnosti od $(0,05 + 1,1 \cdot L) \mu\text{m}$, L u m.

Među značajnijim rezultatima znanstvenog projekta Razvoj državnog etalona za duljinu je rekonstrukcija interferometra C. Zeiss (primjena tri lasera u provedbi mjerenja). Provede se i istraživanja s ciljem realizacije novog interferometra (Synthetic wavelength phase shifting interferometar) kojim će se unaprijediti sadašnja mogućnost mjerenja etalona duljine u LFSB-u.

b) Kut

Mjerne nesigurnosti koje LFSB postiže su na razini od 1", što je skromno u odnosu na europsku i svjetsku razinu, ali dostatno za današnje zahtjeve hrvatskog gospodarstva. Temeljno ograničenje u smanjivanju mjerne nesigurnosti je nedostatak skupe mjerne opreme (precizni diobeni stol, fotoelektrični autokolimacijski dalekozor, precizni kutni poligoni i dr.). Poboljšanju tehničke opremljenosti za potrebe mjeriteljstva kuta posvetiti će se u narednom razdoblju naročita pozornost.

Državni etalon za duljinu sastoji se od:

1. 121 planparalelne granične mjerke, duljine od 0,5 mm do 100 mm, proizvođača MAHR, model 409, serijski broj 908973; slika 1.



Slika 1. Planparalelne granične mjerke

2. Deset dugih planparalelnih graničnih mjerki, duljina od 125 mm do 700 mm, proizvođača Koba;
3. Dva mjerna prstena nazivnih promjera $\varnothing 13,9983$ mm i $\varnothing 50,0004$ mm, proizvođača, Joint, serijski broj NO 0313; slika 2.



Slika 2. Etalonski mjerni prsten Joint

4. Precizne staklene mjerne skale, duljine 100 mm, proizvođača NPL, serijski broj SM, slika 3.



Slika 3. Precizna staklena mjerna skala NPL, SM/RET 228-513

Državni etaloni za duljinu čuvaju se, održavaju i upotrebljavaju sukladno Postupku LFSB G 130.

Pregled etalona kuteva:

- Kutni poligon 2123/922249 sa podjelom punog kruga na 24 dijela (korak 15°), slika 4.



Slika 4. Kutni poligon 2123/922249

- Kutni poligon 12-298, dvanaestostrani (korak 30°), proizvođač Hilger & Watts, slika 5.
- Kutna prizma 10-296, osmostrani (korak 45°), proizvođač Hilger & Watts, slika 5.



Slika 5. Kutni poligoni 12-298 (lijevo) i 10-296 (desno)

- Garniture kutnih mjerki KUT 13-301, 33 kom., mjerno područje 10° - 90° , klasa točnosti 2, proizvođač ČIZ, slika 6.
- Garnitura kutnih mjerki KUT 9- 295, slika 6.



Slika 6. Garniture kutnih mjerki KUT 9-295 (lijevo) i KUT 13-301 (desno)

- Mjerni cilindri RET 20-97, RET 19-96 i RET 19-95, slika 7.



Slika 7. Mjerni cilindri (s lijeva na desno): RET 20-97, RET 19-96 i RET 19-95

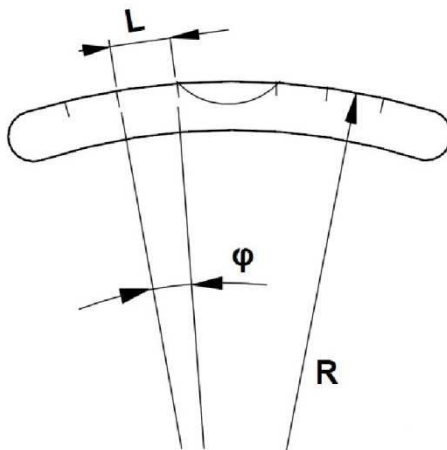
2. PRINCIP MJERENJA LIBELAMA

Libele se upotrebljavaju za određivanje nagiba ispitivane površine prema horizontali ili vertikali i to u principu za manje vrijednosti nagiba. Različiti tipovi libela primjenjuju se u raznim granama industrije: građevini, geodeziji, strojarstvu te se često koriste kao dio nekog drugog instrumenta ili naprave. Prema obliku se libele mogu podijeliti na cijevne i kružne (dozne).

2.1. Cijevna libela

Cijevna libela se prvi puta primijenila 1661. godine, a izumio ju je francuski izumitelj Melchisedech Thevenot, no zbog komplicirane primjene nije našla široku primjenu. Tek 1920. Harry Zeiman izumio je modernu izvedbu cijevne libele.

Glavni dio libele je staklena cijev odnosno ampula (cijevna libela) djelomično ispunjena tekućinom (eter, alkohol, benzol), vrlo niskog ledišta (nižeg od -50°C), tako da u ostatku prostora ostaje zračni mjehur. Staklena cijev je savinuta po strogo definiranom radijusu (slika 8.).



Slika 8. Prikaz staklene cijevi libele

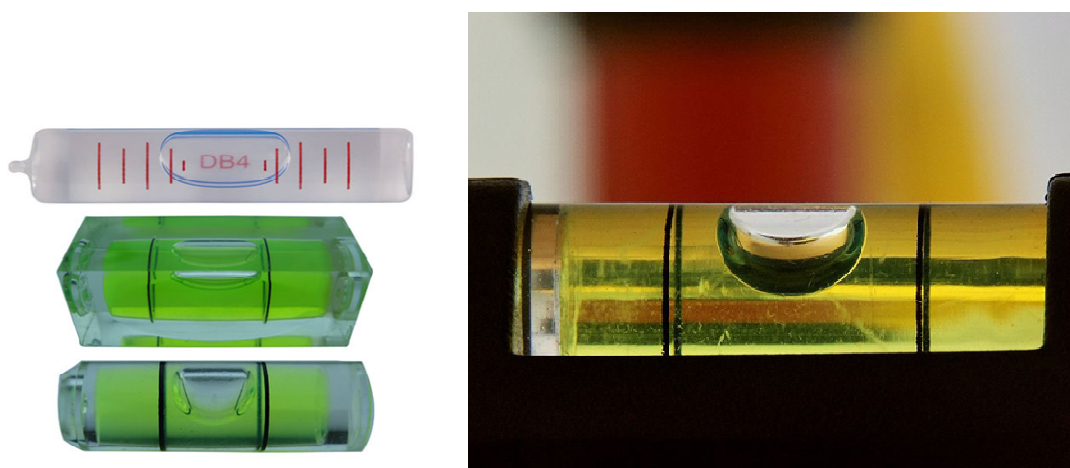
Gdje je:

- μ - centralni kut;
- L - vrijednost podjele skale na cijevi libele (pars);
- R - radijus zakrivljenosti staklene cijevi.

Pošto zračni mjehur želi zauzeti najvišu točku, to će se dogoditi ukoliko je cijevna libela postavljena horizontalno, krajevi mjehurića će se postaviti simetrično s obzirom na okomicu spuštenu na horizontalnu ravninu. Pomicanje mjehura u cijevi preko ugravirane skale daje indicaciju o nagibu libele i objekta mjerenja uz koji je prslonjena.

Pomoću izraza $\varphi = L/R$ definira se osjetljivost libele, koja se mjeri centralnim kutom koji odgovara luku od 1 parsu (pomak od 2 mm, tj. $L = 2$ mm). Rezolucija libele to je veća (kut φ manji) što je radijus veći, tj. pomak mjehura uz istu promjenu nagiba veći (libela brže i uočljivije reagira na promjene mjernog položaja, pa se njom preciznije obavlja horizontiranje).

Cijevne libele (slika 9.), koje se upotrebljavaju kod ispitivanja nagiba u metaloprerađivačkoj industriji, nemaju veću rezoluciju od 10". Najpreciznije libele imaju rezoluciju od 1" do 2".



Slika 9. Prikaz cijevnih libela

Razmak L između ucrtanih linija tj. vrijednost podjele skale može biti iskazana u slijedećim mjernim veličinama:

- a) kutnim jedinicama;
- b) vrijednostima nagiba mm/m.

Radius zakrivljenosti postiže se savijanjem cjevčice ili kod preciznijih libela brušenjem sa unutarnje strane. Inače su cijevne libele osjetljive na uvjete okoline, tj. povećanje temperature uvjetuje da se tekućina rasteže smanjujući tako prostor za mjehurić i obratno. To se kompenzira tako da su glavne crtice (obično veće dužine) koje pokazuju središnji položaj mjehura postavljene na većem razmaku nego dužina mjehura kod -10°C .

Za otklanjanje rastezanja stakla cjevčice libele promjenom temperature, finije graduirane libele imaju elastično postolje za otklanjanje napetosti.

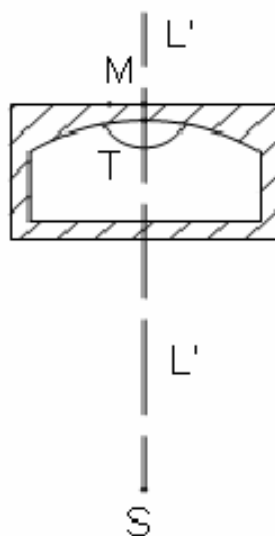
2.2. Kružna libela

Kružna (dozna) libela (slika 10. i slika 11.) datira od 1770. god. Primjenjuje se za grubo horizontiranje.

Gornja ploha libele je dio kugle. Sa vanjske strane stakla nalazi se jedan ili više koncentričnih kružića. Središte kružića je marka libele. Os dozne libele prolazi markom i središtem zakrivljenosti unutrašnje brušene plohe. Kada se mjehurić nalazi u središtu kružića libela vrhuni; os libele je vertikalna u prostoru.



Slika 10. Prikaz kružnih libela



Slika 11. Kružna libela

Gdje je:

- $L'L'$ - os libele;
- T - tjeme libele;
- M - marka libele;
- S - središte zakrivljenosti kružnog luka.

Rezolucija kružne (dozne) libele kreće se od $2'-30'$ te se koristi za grubo horizontiranje instrumenata i pribora.

3. PODJELA LIBELA PREMA KONSTRUKCIJSKIM IZVEDBAMA

Prema konstrukcijskim izvedbama libele možemo podijeliti na:

- tehničke libele;
- koincidentne libele;
- kutne libele;
- elektroničke libele;

3.1. Tehničke libele

Ove libele služe za utvrđivanje horizontalnosti i vertikalnosti površina prilikom montaže strojeva i slične opreme gdje je ona zahtijevana.

Prema DIN 877 dijele se u 4 klase prema području vrijednosti skala uzdužne cijevne libele. Svako od njih dana je pripadajuća cijevna libela prema DIN 2276 sa vrijednošću podjele skale koje se kreću od 0,03 mm/m do 1,6 mm/m. Osim toga proizvođači ove opreme imaju svoje standarde koji su približno jednaki DIN standardu.

Na slici 12. (lijevo) prikazana je uobičajena izvedba libele za poravnanje koja služi za utvrđivanje horizontalnosti, a na slici 12. (desno) prikazana je okvirna libela koja služi za utvrđivanje horizontalnosti i vertikalnosti.



Slika 12. Libela za poravnanje (lijevo) i okvirna libela (desno)

Tehničke se libele izrađuju uglavnom iz metala (za više klase obavezno) sa različitim dužinama mjernih ploha. S ciljem smanjenja utjecaja temperature precizni tip libela je napravljen iz kompaktnog odljevka i opremljen termički izoliranom ručkom.

Cijevne libele (uzdužne i poprečne) smještene su u kućištima vezanim uz tijelo libela uz strogo ostvarenu horizontalnost i vertikalnost sa mjernim plohami.

Kod libela s izvedenim V-žlijebom pod 120° u odnosu na mjerne plohe, omogućeno je ispitivanje horizontalnosti i vertikalnosti cilindričnih površina.

3.2. Koincidentne libele

To su precizne libele za mjerenja nagiba ravnih i cilindričnih površina u odnosu na horizontalnu ravninu sa mogućnošću očitavanja nagiba od 0,01 mm/m što odgovara kutu od približno $2''$.

One se upotrebljavaju za mjerenje nagiba na šablonama, kutnicima, kutomjerima i sl., kao i za ispitivanje točnosti libela, horizontiranje radnih stolova, postolja, vodilica itd. Tom je libelom moguće mjerenje nagiba površine koja ne prelazi vrijednost ± 10 mm/m.

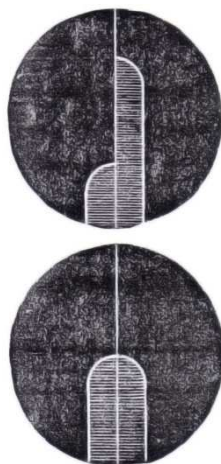
Pomoću metode koincidencije i optičkog povećanja promjena kuta nagiba za $2''$ prikazuje se kao prividni put mjehura od 0,8 mm, što omogućuje da se i najosjetljivija mjerenja izvode brzo i lako. Konstrukcijska izvedba koincidentne libele prikazana je na slici 13.



Slika 13. Koincidentna libela

Metoda koincidencije ostvaruje se pomoću specijalnog optičkog sistema sastavljenog od dvije prizme koje služe za preslikavanje krajeva mjehurića u zajedničku referentnu ravninu. Kada je libela postavljena horizontalno dolazi do zatvaranja konture slike krajeva mjehurića u kontinuiranu polukružnu liniju.

Na slici br. 14. prikazano je vidno polje gdje se vide krajevi mjehurića kad koincidenta libela ne vrhuni i vrhuni.



Slika 14. Vidno polje kod koincidentne libele, ne vrhuni (gore) i vrhuni (dolje)

Cijevna se libela u horizontalan položaj dovodi pomoću mikrometarskog vijka, na kojem se nalazi fina skala za očitavanje nagiba, i poluge koja je vezana za cijevnu libelu.

Gruba skala nalazi se na prednjoj strani koincidentne libele, a njezina marka je vezana za polugu za naginjanje cijevne libele.

3.3. Kutne libele

Upotrebljavaju se kod izrade strojeva i uređaja za precizno mjerenje i ispitivanje položaja kuta na ravnim i cilindričnim dijelovima, te posebno za horizontiranje strojeva, strojnih dijelova, osovina itd.

Karakteristika tih libela je da specifičnom konstrukcijom omogućuju proširenje mjernog područja cijevnih libela tako da je kod nekih izvedbi kutnih libela omogućeno očitavanje u području 0° do 360° .

Slika 15. prikazuje konstrukcijsku izvedbu jedne kutne libele.



Slika 15. Kutna libela

Osnovni element kutne libele je osjetljiva cijevna libela koja se nalazi u zasebnom kućištu čvrsto vezanom za rotirajući disk. Zakretanjem cijevne libele zakreće se rotirajući disk, za koji je vezana kružna ploča sa skalom u kutnim vrijednostima.

Sve zajedno uležišteno je na horizontalno smještenu osovinu oslonjenu na kućištu.

Postavljanjem mjerne površine kutne libele, koja može sadržavati i V-žlijeb za ispitivanje nagiba cilindričnih površina, te dovođenjem cijevne libele u horizontalnu poziciju rotiranjem diska, može se sa kružne skale očitati kutno odstupanje mjerene ravnine od horizontale. To je jedna od mogućnosti utvrđivanja nagiba koja se koristi u mjernoj tehnici.

Druga mogućnost mjerenja koju pružaju kutne libele je utvrđivanje kuta između dviju međusobno nagnutih površina. To se radi tako da se za svaku od površina odredi kutno odstupanje od horizontale i razlika tih dvaju očitavanja daje kut između tih ravnina.

Kutne libele proizvode se u nekoliko izvedbi sa različitim rezolucijama. Česti tip kutnih libela koji se susreće u radionicama je tip sa metalnom ili staklenom kružnom skalom te mikrometarskim vijkom ili skalom nonijusa koji omogućuju očitavanje vrijednosti kuta nagiba do $1'$. Na slici 15. prikazan je takav tip kutne libele sa mikroskopom te staklenom kružnom skalom kojoj je mjerno područje $\pm 120^\circ$ sa mogućnošću očitavanja vrijednosti kuta pomoću skale nonijusa od $1'$.

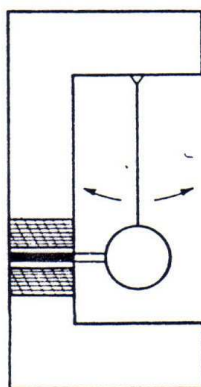
3.4. Elektroničke libele

Elektroničke libele su precizni instrumenti za horizontiranje i ispitivanje horizontalnosti i vertikalnosti ravnina i cilindara. Opremljene su sa elektronskom mjernom jedinicom koja daje odstupanja od horizontale i vertikale na galvanometru baždarenom u kutnim jedinicama ili vrijednostima nagiba mm/m. Elektronska mjerna jedinica može biti zajedno s osjetnim elementom smještena u jednom kućištu na kojem su smještene mjerne plohe ili odvojena u zasebnom kućištu, te spojena pomoću kabela s osjetnom jedinicom.

Proizvode se u različitim konstrukcijskim izvedbama, ali sa jednom zajedničkom karakteristikom, a to je korištenje indukcijske zavojnice kao osjetnog elementa.

Vrlo je često kod tih libela korišten princip mjerenja koji počiva na svojstvu njihala gdje baza instrumenta (mjerna ploha) tvori ravninu koja predstavlja stvarnu horizontalu kad je njihalo u svojoj centralnoj poziciji.

Na slici 16. prikazana je principijelna shema osjetnog elementa elektroničke libele Niveltronic-Tesa.



Slika 16. Principijelna shema osjetnog elementa elektroničke libele

Osnovni dio je okvir koji na sebi ima pričvršćeno njihalo sa feritnom jezgrom koje ulazi u dvostruku zavojnicu. Naginjanjem mjernih ploha prema horizontali dolazi do pomaka njihala tj. feritne jezgre što utječe na induktivitet dvostruke zavojnice te tako dolazi do promjene napona koji je proporcionalan nagibu. Ovaj električni signal se pojačava, ispravlja i dovodi na galvanometar kao mjerna vrijednost data u analognom obliku.

Kada se obavlja mjerenje od neke referentne ravnine koja nije točno paralelna sa geološkom horizontalom postoji mogućnost nultog podešavanja unutar određenog područja koje djeluje mehanički na vješanje njihala ili elektronički na pojačalo što ovisi o konstrukciji instrumenta.

Prednosti elektroničke libele su:

- mogućnost daljinskog promatranja i očitavanja vrijednosti;
- vrlo dobra ponovljivost rezultata;
- mogućnost izbora mjernog područja (osjetljivost).

Na slici 17. prikazan je tip elektroničke libele s objedinjenom elektronskom mjernom jedinicom.



Slika 17. Elektronički tip libele s objedinjenom elektronskom mjernom jedinicom

4. PREGLED KONSTRUKCIJSKIH IZVEDBI LIBELA S OSNOVNIM KARAKTERISTIKAMA PREMA PROIZVOĐAČIMA

Na slijedećim stranicama ovog rada prikazan je pregled konstrukcijskih libela po proizvođačima.

U tablicama 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9. prikazane su značajke prema različitim izvedbama libela. Pregled koincidentnih libela dan je za proizvođače iz 1977. godine jer se iste danas više ne proizvode. U današnje vrijeme umjesto koincidentnih libela proizvode se i primjenjuju elektroničke libele.

Osnovne karakteristike uključuju:

- naziv proizvođača;
- naziv i tip uređaja;
- dužinu mjerne plohe u mm;
- podjelu skale na cijevnoj libeli u mm/m;
- širinu mjerne plohe u mm;
- masu libela u kg;
- postojanje odgovarajuće toplinske izolacije;
- postojanje V- utora;
- netočnost (standardi BS 958, DIN877, DIN 2276 Part 1);
- mjerno područje u mm/m;
- podjelu skale u mm/m;
- dimenzije uređaja (dužina x širina x visina) u mm;
- nesigurnost očitavanja u mm/m ili ';
- podjelu skale uzdužne cijevne libele u ' ili °;
- mjerno područje u ° ili mm/m;
- podjelu skale kružnog mjerenja u °;
- područje nultog postavljanja u mm/m;
- osnovne dimenzije uređaja (dužina baze x širina baze) u mm
- standard (tvornički standard, BS 958, DIN877, DIN 2276 Part 1,DIN 2276 Part 2).

Tablica 2. Pregled značajki tehničkih libela po proizvođačima

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Podjela skale na cijevnoj libeli [mm/m]									Širina mjerne plohe [mm]	Masa [kg]	Toplinska izolacija	V - žlijeb	Netočnost
		60	90	100	120	150	200	250	300	500					
TESA	Strojna libela za poravnanje			0,3 0,1		0,1	0,1				32;35;40; 45;50		+	+	DIN 877; DIN 2276 Part 1
	Precizna strojna libela za poravnanje			0,05 0,02		0,05 0,02	0,04 0,02	0,02	0,05				+	+	
	Precizna strojna libela za poravnanje s mikrometarskim vijkom			0,02		0,02					45		+	+	
WYLER	Strojna libela za poravnanje			0,3 0,1		0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	32;35;40; 45;50;60	0,350; 0,650; 0,950;	+	+	
	Precizna strojna libela za poravnanje			0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02	0,05 0,04 0,02		1,3;2,2; ;3,85	+	+	
	Precizna libela za poravnanje			0,1 0,05 0,04 0,02		0,1 0,05 0,04 0,02	0,1 0,05 0,04 0,02				45	0,850; 1,350; 1,850	+	+	
	Libela za poravnanje sa kratkom mjernom površinom	0,3 0,1 0,05	0,3 0,1 0,05	0,3 0,1 0,05							32;42	0,400; 0,600; 0,900		+	
	Precizna strojna libela za poravnanje s mikrometarskim vijkom				0,02	0,02					25;45	0,400; 1,750	+	+	

Tablica 3. Pregled značajki tehničkih libela po proizvođačima (nastavak)

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Dužina mjerne plohe [mm]									Širina mjerne plohe [mm]	Masa [kg]	Toplinska izolacija	V - žlijeb	Netočnost
		60	90	100	120	150	200	250	300	500					
LEVEL DEVELO- PMENTS LTD	Jednostavna precizna libela za poravnanje					1 0,4 0,1 0,05	1 0,4 0,1 0,05	1 0,4 0,1 0,05	1 0,4 0,1 0,05		28	0,3; 0,4; 0,5; 0,6			DIN 877; BS 958
	Visoko precizna strojna libela za poravnanje			0,1 0,05 0,02 0,01		0,1 0,05 0,02 0,01	0,1 0,05 0,02 0,01	0,1 0,05 0,02 0,01		0,1 0,05 0,02 0,01	40	0,95; 1,15; 1,55; 2,4; 4,3	+	+	
	Libela za poravnanje sa kratkom mjernom površinom	0,4 0,1	0,4 0,1		0,4 0,1						40	0,43; 0,62; 0,85	+	+	
	Visoko precizna libela za poravnanje sa širokom bazom						0,05 0,02 0,01				110; 220	2,5; 4,5	+	+	
BOCCHI	Precizna strojna libela za poravnanje s mikrometerskim vijkom					0,02 0,01	0,02 0,01		0,02 0,01			1,4; 1,7; 2,5	+	+	DIN 877
	Precizna libela za poravnanje					1,8 0,35 0,10 0,05 0,02	1,8 0,35 0,10 0,05 0,02	1,8 0,35 0,10 0,05 0,02	1,8 0,35 0,10 0,05 0,02		40			+	
	Precizna strojna libela za poravnanje s mikrometerskim vijkom					0,02					45				
MITUTOYO	Precizna libela za poravnanje						0,1 0,05				40		+	+	
Podjela skale na cijevnoj libeli [mm/m]															

Tablica 4. Pregled značajki okvirnih tehničkih libela po proizvođačima

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Podjela skale na cijevnoj libeli [mm/m]						Širina mjerne plohe [mm]	Masa [kg]	Toplinska izolacija	V - žlijeb	Netočnost
		100	110	150	200	250	300					
TESA	Okvirna libela za poravnanje	0,1 0,05		0,05	0,05 0,02	0,05		32; 35; 40; 45		+	+	DIN 877
	Visoko precizna okvirna libela s dvije magnetske mjerne plohe			0,05 0,04 0,02				40		+	+	DIN 2276/1
WYLER	Okvirna libela za poravnanje	0,3 0,1 0,05 0,04 0,02		0,3 0,1 0,05 0,04 0,02	0,3 0,1 0,05 0,04 0,02	0,3 0,1 0,05 0,04 0,02	0,3 0,1 0,05 0,04 0,02	32; 35; 40; 45; 50	0,7; 1,5; 2,9; 4,75; 8	+	+	DIN 877 DIN 2276/1
	Visoko precizna okvirna libela s dvije magnetske mjerne plohe			0,3 0,1 0,05 0,04 0,02				40	1,5	+	+	
LEVEL DEVELO- PMENTS LTD	Precizna okvirna libela za poravnanje	0,4 0,1 0,04			0,4 0,1 0,05 0,02 0,01		0,4 0,1 0,05 0,02 0,01		0,6; 3,8; 8,5	+	+	BS 958 DIN 877
	Precizna okvirna libela s dvije široke mjerne plohe		0,05 0,02 0,01		0,05 0,02 0,01				5,5; 8,5;	+	+	
	Visoko precizna okvirna libela s mikrometerskim vijkom				0,02 0,01		0,02 0,01		3,8; 8,5	+	+	

Tablica 5. Pregled značajki okvirnih tehničkih libela po proizvođačima (nastavak)

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Dužina mjerne plohe [mm]						Širina mjerne plohe [mm]	Masa [kg]	Toplinska izolacija	V - žlijeb	Netočnost
		100	110	150	200	250	300					
		Podjela skale na cijevnoj libeli [mm/m]										
BOCCHI	Okvirna libela za poravnanje			1,8 0,35 0,10 0,05 0,02				42,50; 55		+	+	DIN 877
					0,02			44			+	
MITUTOYO	Precizna okvirna libela za poravnanje											

Tablica 6. Pregled značajki koincidentnih libela po proizvođačima (1977. god.)

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Mjerno područje [mm/m]	Podjela skale [mm/m]	Dimenzije uređaja dužina x širina x visina [mm]	Masa uređaja [kg]	Nesigurnost očitavanja
ZRAK (SFRJ)	Koincidentna libela KL - 1	± 10	0,01			$\pm 0,03$
CARL ZEISS (DR. NJEMAČKA)	Koincidentna libela	± 10	0,01	165 x 47 x 100	1,8	$\pm 0,02$
KALIBAR (SSSR)	Koincidentna libela	± 10	0,01	158 x 56 x 95	1,5	$\pm 0,02$
HILGER & WATTS (V. BRITANIJA)	Koincidentna libela	± 10	0,2	127 x 59 x 102	1,1	$\pm 0,01$

Tablica 7. Pregled značajki kutnih libela po proizvođačima

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Mjerno područje	Podjela skale kružnog mjerila	Podjela skale uzdužne cijevne libele	Dimenzije uređaja dužina x širina x visina [mm]	Masa uređaja [kg]	Nesigurnost očitavanja	V - žlijeb	Standardi
TESA	Kutna libela	4 x 90°	1°	7 ÷ 17'	180 x 150 x 40		± 1'	+	Tvornički standard
	Precizna okvirna kutna libela	± 90°	1° (10' podjela dodatne skale)	1'	150 x 150 x 40		± 1'	+	
	Precizni kutomjer	2 x 180°	1° (3' podjela dodatne skale)	1'	150 x 150 x 40		± 1'	+	
	Precizna kutna libela s mikrometarskim vijkom	2 x 180°	1° (1' podjela na mikrometru)	1'	150 x 35 x 116		± 1'	+	
WYLER	Kutna libela	2 x 180°	1°	2 - 5 mm/m	180 x 75 x 22	0,5	± 30'	+	DIN 877 DIN 2276/Part 1
	Precizna okvirna kutna libela	2 x 180°	1°	0,3 mm/m	150 x 150 x 40	2,2	± 3'	+	
	Precizni kutomjer	1 x 90°	1°	0,3 mm/m	150 x 150 x 40	1,4	± 10'	+	
	Precizna kutna libela s mikrometarskim vijkom	2 x 180°	1°	0,3 mm/m	150 x 35 x 116	1,6	± 1'	+	

Tablica 8. Pregled značajki kutnih libela po proizvođačima (nastavak)

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Mjerno područje	Podjela skale kružnog mjerila	Podjela skale uzdužne cijevne libele	Dimenzije uređaja dužina x širina x visina [mm]	Masa uređaja [kg]	Nesigurnost očitavanja	V - žlijeb	Standard
LEVEL DEVELOPMENTS LTD	Precizna kutna libela s mikrometerskim vijkom	0° ... 360°	1°	1'	150 x 124 x 30	1,6	± 1'	+	BS 958
	Precizna kutna libela	0° ... 360°	1°	1'	150 x 150 x 30	1,6	± 1'	+	
	Kutna libela	0° ... 360°	1°	30'	100 x 100 x 15	0,3	± 30'		
	Precizni kutomjer	90°	1°	10'	150 x 150 x 39	1,5	± 10'		
BOCCHI	Kutomjer	0° ... 180°	1°	0,5 mm/m	200 x 25 x 12				
MITUTOYO	Digitalni kutomjer	0° ... 360°			153,5 x 31 x 50,8		± 0,1°		

Tablica 9. Pregled značajki elektroničkih libela po proizvođačima

Proizvođač	Naziv i tip uređaja	Mjerno područje [mm/m]	Podjela skale [mm/m]	Područje nultog postavljanja [mm/m]	Osnovne dimenzije uređaja dužina baze x širina baze [mm]	Masa uređaja [kg]	V - žlijeb	Nesigurnost očitavanja [mm/m]	Standard
TESA	Niveltronic	± 0,75	0,05/0,01	± 1,8	150 x 45; 200 x 45; 200 x 50; 250 x 50; 500 x 50;	6 6,5	+	± 0,001	DIN 2276 Part 2
		± 0,15							
WYLER	Nivel swiss	± 0,75 ± 0,15	0,05/0,01	± 1,8	150 x 45	3,7	+	± 0,001	
FOWLER / WYLER	Niveltronic	± 0,75 ± 0,15	0,05/0,01	± 1,8			+	± 0,001	
MICROPLAN	LE 051	5 1 0,2 0,1 0,02	0,25 0,05 0,01 0,005 0,001	± 1,5	220 x 50	4,4	+	± 0,001	DIN 2276

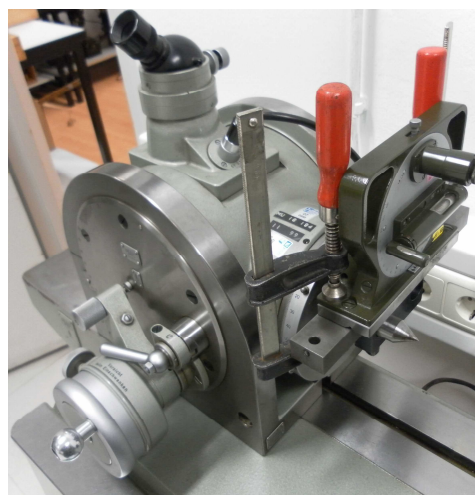
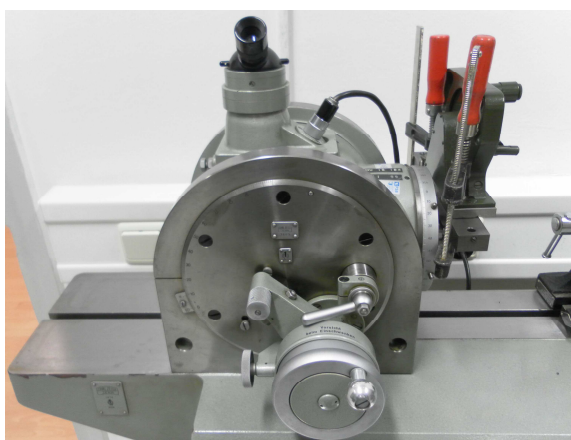
5. RAZRADA METODA PROVJERE ZNAČAJKI ODABRANIH KUTNIH LIBELA

Za razradu metode provjere značajki libela odabrane su dvije kutne libele različitih proizvođača. Prva odabrana kutna libela je Carl Zeiss 3900 (slika 18. - lijevo). To je tip kutne libele sa mikroskopom, te staklenom kružnom skalom mjernog područja $\pm 120^\circ$ sa mogućnošću očitavanja vrijednosti kuta pomoću mikrometarskog vijka odnosno skale nonijusa rezolucije 1'. Drugi tip odabrane kutne libele je Poland PZO Warszawa (slika 18. - desno) koji ima nešto drugačiju konstrukcijsku izvedbu kućišta no identičnu podjelu skala kao i prethodno opisana Carl Zeiss 3900 kutna libela.



Slika 18. Kutne libele Carl Zeiss 3900 (lijevo) i Poland PZO Warszawa (desno)

Obje kutne libele ispitivane su na diobenoj glavi Carl Zeiss – Jena 3689 (slika 19.) s mogućnošću očitavanja vrijednosti kuta na skali nonijusa od 10".



Slika 19. Prikaz diobene glave Carl Zeiss – Jena 3689 i kutne libele Carl Zeiss 3900

5.1. Primjer očitavanja vrijednosti na skali nonijusa diobene glave

Na ovom primjeru ćemo prikazati pravilan način očitavanja za kut od 30° . Nakon namještanja traženog kuta na diobenoj glavi (slika 20.) i na kutnoj libeli Carl Zeiss 3900 u negativnom (-) smjeru (slika 21.) te preciznom namještanju na skali nonijusa kutne libele prema opisanom postupku pristupili smo očitavanju skale nonijusa na diobenoj glavi.

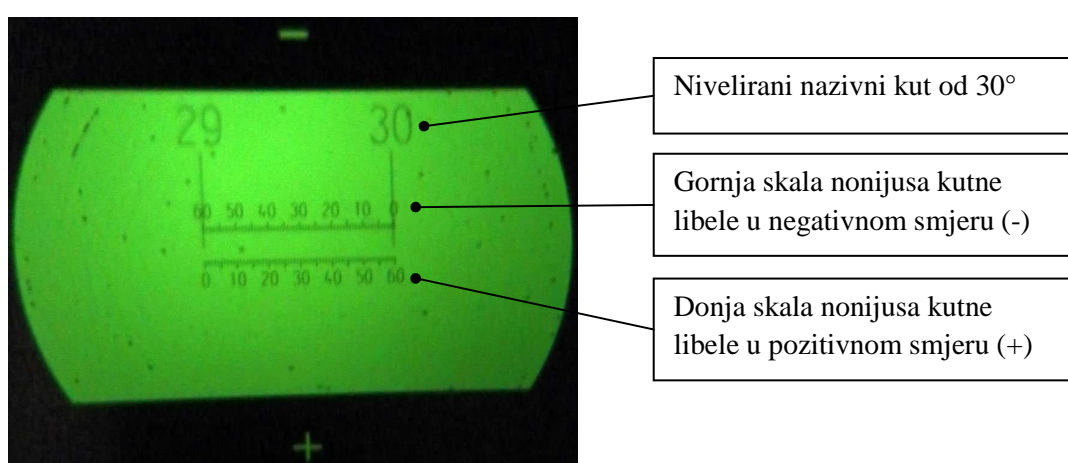


Slika 20. Namještanje diobene glave na 30°

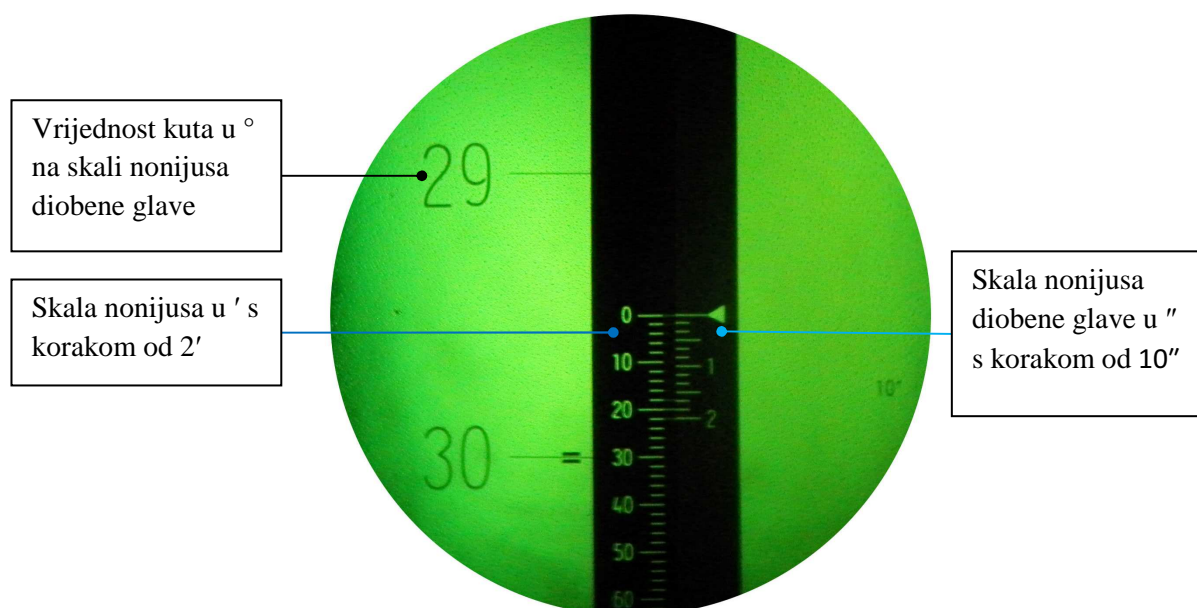


Slika 21. Namještanje kutne libele Carl Zeiss 3900 u negativnom (-) smjeru na 30°

Na slici 22. prikazana je skala nonijusa kutne libele za precizno namještanje koja je postavljena na 30° te na slici 23. skala nonijusa na diobenoj glavi sa očitanjem od $29^\circ 59' 50''$. Pošto se nulta linija skale nonijusa u " nalazi malo iznad nulte linije skale nonijusa u ' za vrijednost kuta očitava se 29° (u obrnutom slučaju bi se očitavala vrijednost od 30°). Nadalje prema skali nonijusa u " očitava se vrijednost za $10''$ manja od $60''$ što u konačnici daje vrijednost od $29^\circ 59' 50''$. Očitavanje vrijednosti kuta od $29^\circ 59' 50''$ se konkretno odnosi na drugo mjerenje za nazivni kut od 30° prema tablici 11.



Slika 22. Skala nonijusa kutne libele Carl Zeiss 3900 pozicionirana na 30°



Slika 23. Primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost kuta od $29^\circ 59' 50''$

5.2. Postupak umjeravanja kutne libele Carl Zeiss 3900

5.2.1. Utvrđivanje odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900

Kako bi ispitali odstupanja kutne libele Carl Zeiss 3900 prvo je bilo potrebno postaviti libelu na diobenu glavu Carl Zeiss – Jena 3689. Kutnu libelu na diobenoj glavi učvrstili smo ručnim stegama. Nakon toga potrebno je bilo postaviti i kutnu libelu i diobenu glavu u nulti položaj.

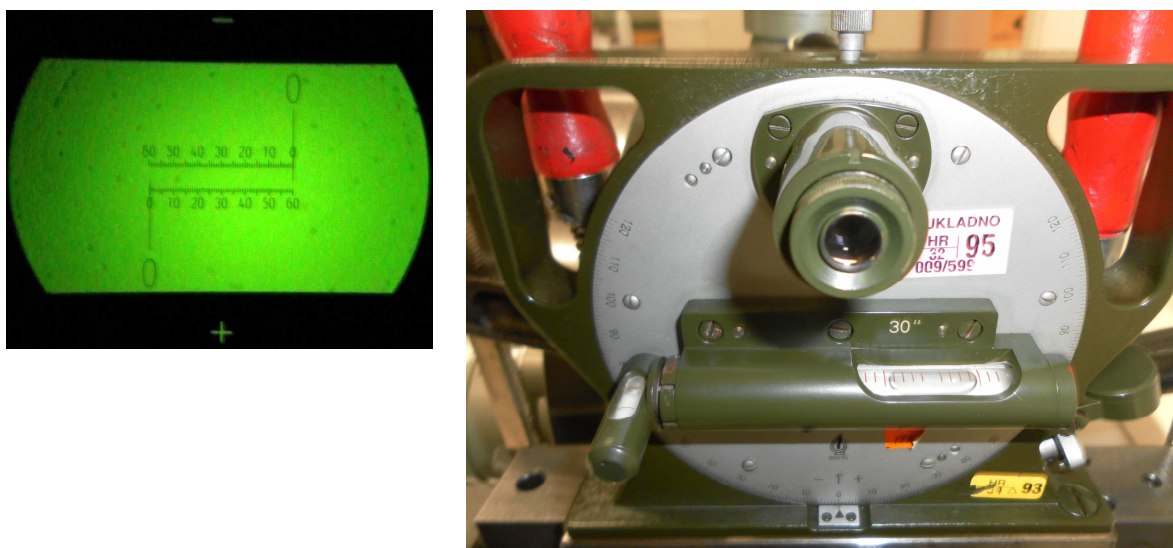
Prvo je neophodno bilo nivelirati, tj. postaviti diobenu glavu na nulti položaj, a tek nakon toga kutnu libelu.

Diobenu glavu je potrebno dovesti u nulti položaj na skali diobene glave (slika 24. - lijevo), zatim je bilo potrebno postaviti nulti položaj na skali nonijusa pomoću mikrometarskog vijka (slika 24. - desno).



Slika 24. Nulti položaj skale u stupnjevima na diobenoj glavi (lijevo) i skale nonijusa (desno)

Nakon namještanja diobene glave pristupa se namještanju kutne libele na nulti položaj tako da se skala na nonijusu libele dovede u nulti položaj kao i mjehurić u staklenoj cijevi (ampuli) kako je prikazano slikom 25. Kutna libela Carl Zeiss 3900 pomoću mjehura u staklenoj cijevi može se očitavati s rezolucijom od 30". Skala na nonijusu kutne libele pokazuje dva područja mjernja. Pozitivno područje (+) se vidi na donjoj skali nonijusa, a negativno područje (-) mjerenja na gornjoj skali.



Slika 25. Nulti položaj nonijusa kutne libele (lijevo) i mjehura u staklenoj cijevi (desno)

Nakon tako postavljenog sustava u nulti položaj možemo pristupiti mjerenju. Prvo smo mjerili u pozitivnom smjeru (+) skale na kutnoj libeli Carl Zeiss 3900. Raspon mjerenja je od 10° do 90° uz korak od 10° . Kut na diobenoj glavi je zbog toga pomican u smjeru od 0° (360°) do 270° .

Sam postupak mjerenja obavljao se na sljedeći način:

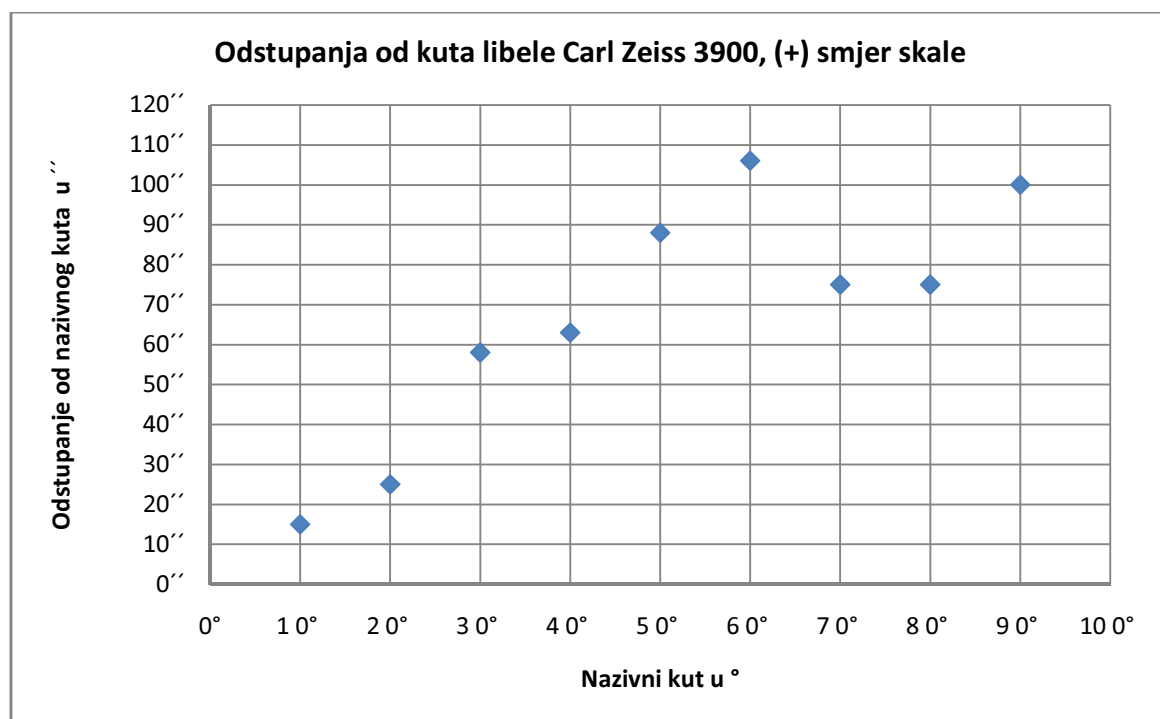
- Diobenu glavu smo prvo zakrenuli za kut od 10° tako da je mjerna skala pokazivala 350° . Na nonijusu diobene glave potrebno je vijkom na diobenoj glavi postaviti traženi kut odnosno 350° .
- Nakon toga otpušta se vijak za fiksiranje kutne libele te se libela zakreće u pozitivnom smjeru skale (+) za 10° . Steže se vijak za fiksiranje kutne libele te se na nonijusu kutne libele postavlja traženi kut na donjoj skali (za pozitivno područje) na vrijednost 10° .
- Pomoću vijka na diobenoj glavi postavlja se mjehur na kutnoj libeli u nulti položaj.
- Na kraju se namješta nonijus za traženi kut na diobenoj glavi te se očitava i zapisuje vrijednost na skali nonijusa. Postupak se ponavlja uz novo zakretanje kuta za 10° .

Na taj način provedena su četiri mjerenja čiji su rezultati dani tablicom 10. Nakon svakog niza mjerenja potrebno je prije sljedećeg ponovo provesti niveliranje diobene glave i kutne libele.

Tablica 10. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (+) smjer skale

Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Aritmetička sredina	Odstupanje od nazivnog kuta	Raspon
		1	2	3	4			
10	350	10°0'10"	10°0'10"	10°0'40"	10°0'00"	10°0'15"	15"	40"
20	340	20°0'30"	20°0'10"	20°0'50"	20°0'10"	20°0'25"	25"	40"
30	330	30°0'50"	30°0'30"	30°1'40"	30°0'50"	30°0'58"	58"	70"
40	320	40°0'50"	40°0'40"	40°1'40"	40°1'00"	40°1'2,5"	63"	60"
50	310	50°1'20"	50°0'50"	50°1'50"	50°1'50"	50°1'28"	88"	60"
60	300	60°1'30"	60°1'10"	60°2'20"	60°1'50"	60°1'46"	106"	70"
70	290	70°1'30"	70°0'20"	70°1'20"	70°1'50"	70°1'15"	75"	90"
80	280	80°1'40"	80°0'20"	80°0'20"	80°1'40"	80°1'15"	75"	80"
90	270	90°1'40"	90°0'50"	90°1'50"	90°2'20"	90°1'40"	100"	90"

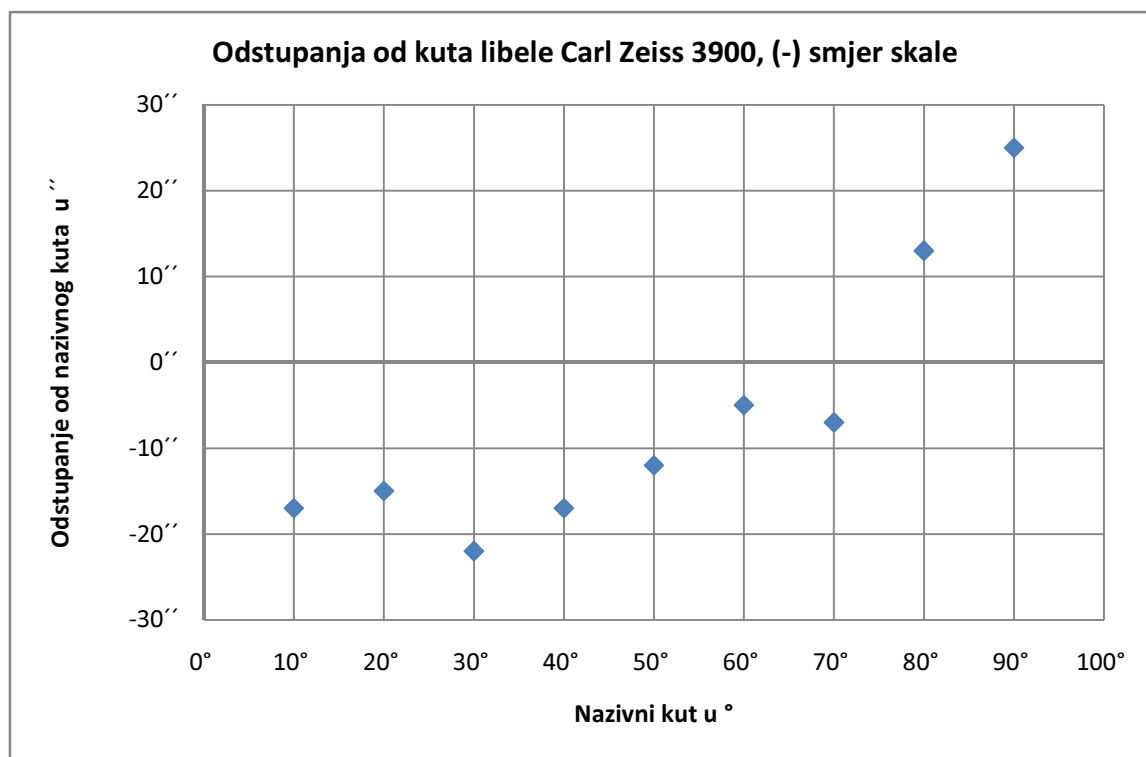
Vrijednosti odstupanja od nazivnog kuta dobili smo tako što smo od vrijednosti aritmetičke sredine oduzeli vrijednost nazivnog kuta. Slika 26. prikazuje graf odstupanja od kuta za Carl Zeiss 3900 kutnu libelu u pozitivnom (+) smjeru skale.

**Slika 26. Graf odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (+) smjer skale**

Nakon mjerenja u pozitivnom smjeru (+) skale na kutnoj libeli Carl Zeiss 3900 sustav smo ponovo postavili u nulti položaj te smo obavljali mjerenja u negativnom (-) smjeru. Raspon mjerenja je ostao nepromijenjen, tj. kretao se od 10° do 90° uz korak od 10° . Kut na diobenoj glavi je zbog toga pomican u suprotnom smjeru od prethodnog primjera, tj. od 0° (360°) do 90° . Postupak mjerenja obavljao se prema prethodno opisanom postupku. U tablici 11. prikazani su rezultati mjerenja odstupanja od kuta. Na slici 27. Vidi se graf odstupanja od kuta za Carl Zeiss 3900 kutnu libelu u negativnom (-) smjeru skale.

Tablica 11. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (-) smjer skale

Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Aritmetička sredina	Odstupanje od nazivnog kuta	Raspon
		1	2	3	4			
10	10	9°59'40"	9°59'50"	9°59'30"	9°59'50"	9°59'43"	-17"	20"
20	20	19°59'40"	19°59'50"	19°59'40"	19°59'50"	19°59'45"	-15"	10"
30	30	29°59'20"	29°59'50"	29°59'40"	29°59'40"	29°59'38"	-22"	30"
40	40	39°59'20"	40°00'10"	39°59'30"	39°59'50"	39°59'43"	-17"	50"
50	50	49°59'20"	49°59'50"	49°59'50"	50°00'10"	49°59'48"	-12"	50"
60	60	59°59'30"	60°00'10"	59°59'40"	60°00'20"	59°59'55"	-5"	50"
70	70	69°59'20"	70°00'10"	69°59'50"	70°00'10"	69°59'53"	-7"	50"
80	80	79°59'40"	80°00'20"	80°00'20"	80°00'30"	80°00'13"	13"	50"
90	90	90°00'10"	90°00'30"	90°00'20"	90°00'40"	90°00'25"	25"	30"



Slika 27. Graf odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900, (-) smjer skale

5.2.2. Postupak ispitivanja vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900

Kvaliteta vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900 ispitivana je pomoću precizne koincidente libele (slika 13.). Vrhunjenjem određujemo ponašanje mjehura na kutnoj libeli te da li se mjehur vraća u početni položaj. Tako određujemo da li je vrhunjenje dobro ili ne. Postupak vrhunjenja libele sastojao se od slijedećih koraka:

- Prvo je bilo potrebno baznu površinu kutne libele očistiti alkoholom.
- Nakon toga se na granitni lineal koji se nalazi na nagibnom stolu postavlja koincidentna libela koju je prvo potrebno nivelirati (slika 28.).
- Zatim se do koincidente libele na granitni lineal postavlja kutna libela Carl Zeiss 3900 te se provjerava kako pokazuje mjehurić te da li se nalazi u nultom položaju (slika 29).
- Kutna libela se naklon toga zakreće za 180° te se ponovo provjerava pokazivanje mjehurića (slika 30.).
- Ukoliko se utvrdi razlika u pokazivanju, kutnu libelu namjestiti na nulu. Na kraju se daje zaključak da li kutna libela dobro vrhuni ili ne.

Standard DIN 877 propisuje da za dužine baze libela $l_B \leq 100$ mm (dužine baze obiju libela u našem slučaju iznose: $l_B = 46$ mm) i mjerne skale ampule rezolucije iznad $10''$ odstupanje od nultog položaja kutne libele smije iznositi 0,4 rezolucije podjele skale. Za rezoluciju mjerne skale od $30''$ vrijednost odstupanja od nultog položaja iznosi $12''$. Nakon provedenog ispitivanja vrhunjenja došli smo do zaključka da kutna libela dobro vrhuni, tj. da je odstupanje mjehurića od nultog položaja manje od $12''$.



Slika 28. Nivelirana koincidentna libela na granitnom linealu



Slika 29. Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900



Slika 30. Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Carl Zeiss 3900 zakrenute za 180°

5.2.3. Postupak ispitivanja točnosti kuta kutne libele Carl Zeiss 3900 pomoću sinus lineala

Jedna od najpoznatijih trigonometrijskih metoda za mjerenje kuteva je tzv. „sinus metoda“. Ova metoda omogućava postavljanje bilo kojeg kuta korištenjem sinus lineala i planparalelnih graničnih mjerki.

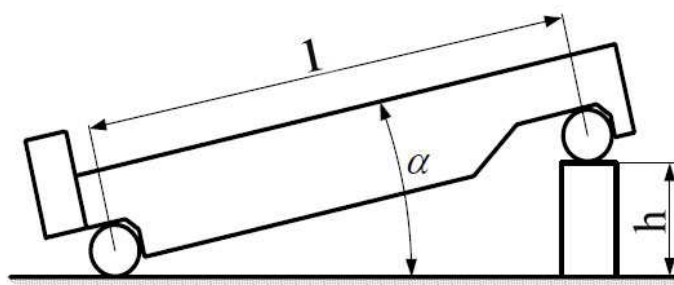
Kod „sinus metode“ se kao veza (element) u procesu mjerenja koristi sinus lineal. Ovoj kategoriji elemenata za mjerenje (postavljanje) kutova pripada, osim sinus lineala, sinus blok i sinus stol, a samo zbog cjeline može se spomenuti i tangens lineal, čija je upotreba jako ograničena.

Korištenjem sinus lineala, zajedno sa mjernom pločom i planparalelnim graničnim mjerkama, može se postaviti željeni kut. Zbog toga (iz praktičnih razloga) se sinus lineali izrađuju sa točno definiranim dužinama l , te se u skladu s veličinom kuta α varira dužina kombinacije planparalelnih graničnih mjerki „ h “, koja proizlazi iz jednostavne trigonometrijske relacije (slika 31.):

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

$$h = \sin \alpha \cdot l$$

$$\alpha = \arcsin \frac{h}{l}$$



Slika 31. Mjerenje kuteva - sinus lineal

Gdje je:

- α - postavljeni kut;
- l - nazivna dužina sinus lineala;
- h - dužina kombinacije planparalelnih graničnih mjerki.

Sinus lineali i sinus blokovi izrađuju se u dužinama od 100 do 400 mm. Dužina sinus lineala (bloka) je određena s udaljenošću između osiju dva podupirajuća valjčića, kao što je vidljivo na slici 31.

Fiksna dužina sinus lineala (bloka) u cjelobrojnim dužinskim jedinicama (milimetrima) olakšava postavljanje sinus lineala (bloka) na željeni kut, pri čemu je potrebno pronaći vrijednost sinusa kuta u tabelama.

Pouzdanost mjerenja kutova pomoću sinus lineala ovisi o točnosti izrade samog sinus lineala. Standardi općenito propisuju dvije klase točnosti sinus lineala:

- laboratorijski sinus lineali;
- radionički sinus lineali.

Dozvoljena odstupanja karakterističnih veličina sinus lineala tih dviju klasa uglavnom su u odnosu 1:2. Standardima propisana dozvoljena odstupanja odnose se na nekoliko funkcionalno važnih elemenata sinus lineala:

- ravnoća radne površine, paralelnost i okomitost funkcionalno povezanih površina sinus lineala (bloka);
- kružnost i cilindričnost podupirajućih valjčića;
- međusobna paralelnost valjčića i paralelnost valjčića u odnosu na radnu površinu sinus lineala (bloka);
- točnost nazivnog promjera podupirajućih valjčića.

Sinus blok je izrađen principijelno na isti način kao i sinus lineal, s tim da mu je radna površina znatno šira u svrhu prihvatanja tehničkih dijelova na kojima je potrebno izmjeriti određeni kut. Pri tome se konični dijelovi oslanjaju (prihvaćaju) na radnu površinu sinus bloka tako da im je vrh (stvarni ili zamišljeni) usmjeren prema uzdignutom kraju radne površine sinus bloka.

Nagib radne površine laboratorijskog sinusa bloka, izveden preko kombinacije planparalelnih graničnih mjerki „0“ ili „00“ klase, može imati moguću pogrešku postavljanja kuta od 5" do 10", ili čak manje. Ova razina točnosti odnosi se na postavljanje kutova veličine od 0 do 30°, dok preko te veličine kuta točnost postavljanja sinus bloka (lineala) postepeno pada, što proizlazi iz prethodno navedene trigonometrijske relacije. Sinus blokovi (lineali) se u principu ne mogu koristiti za postavljanje kuteva preko 45°, te se u tu svrhu koristi prikladnost postavljanja komplementa kuta $90^\circ - \alpha$.

Pored sinus lineala i sinus blokova, „sinus metoda“ mjerenja (postavljanja) kuteva je zastupljena i kod tzv. „sinus stolova“. Međutim, praktične izvedbe sinus stolova se vidno razlikuju od izvedbi sinus lineala, odnosno sinus blokova. Radna površina sinus stola, ovisno o izvedbi, ima jednu ili dvije osi rotacije. Veličina rotacije, određene kombinacijom planparalelnih graničnih mjerki, određuje traženi nagib radne površine sinus stola.

Za potrebe ispitivanja točnosti kuta kutne libele Carl Zeiss 3900 pomoću sinus lineala koristili smo sinus lineal proizvođača Mahr oznake 200 x sin α nazivne dužine $l = 200$ mm. Nakon postavljanja sinus lineala na granitni lineal na sinus lineal smo postavili kutnu libelu Carl Zeiss 3900 (slika 32.).



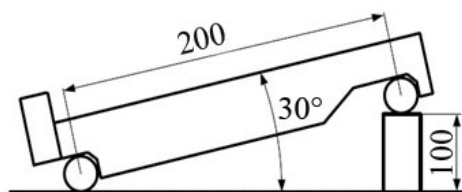
Slika 32. Kutna libela Carl Zeiss 3900 i sinus lineal 200 x sin α

Zatim smo na lijevi kraj sinus lineala postavili planparalelnu graničnu mjerku za dužine ($h = 100$ mm) pomoću koje smo dobili kut od 30° . Odnosno prema skici (slika 33.) i formuli iz jednostavne trigonometrijske relacije slijedi:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

$$\sin \alpha = \frac{100}{200}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{100}{200} = 0,5 \rightarrow \alpha = 30^\circ$$



Slika 33. Kut od 30° dobiven pomoću sinus lineala

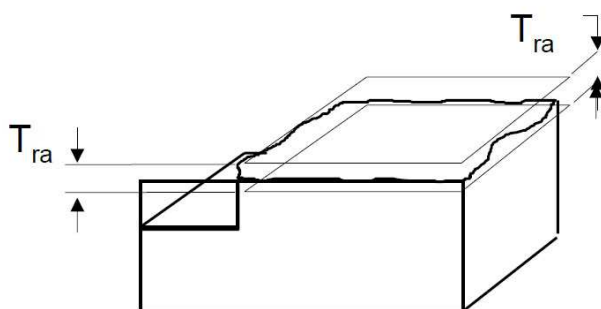
Tada smo na kutnoj libeli u pozitivnom smjeru (+) smjeru skale postavili kut od 30° te promatrali odstupanje mjehurića od nultog položaja kako bi ustanovili odstupanje od zadanog kuta (slika 34.). Kako je vidljivo na slici 34. možemo zaključiti kako je odstupanje mjehurića pri 30° od nultog položaja neznatno odnosno zadovoljavajuće za mjerno područje kutne libele.



Slika 34. Utvrđivanje odstupanja mjehurića libele Carl Zeiss 3900 od nultog položaja za sinus lineal od 30°

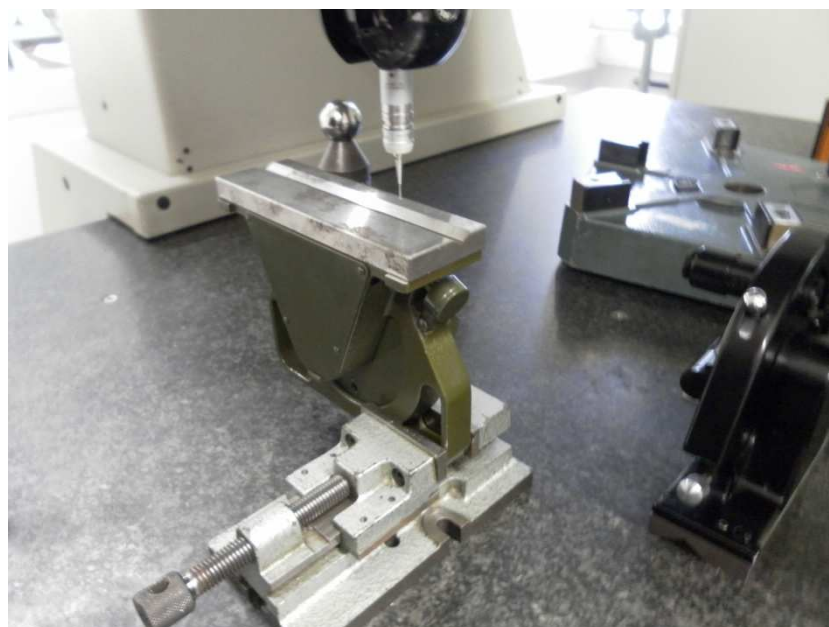
5.2.4. Mjerenje ravnosti bazne površine kutne libele Carl Zeiss 3900

Ravnost definiramo kao stanje površine kod koje su sve točke u jednoj ravnini. Dozvoljeno odstupanje od ravnosti određeno je prostorom između dvije ravnine, koje su udaljene za vrijednost naznačenog odstupanja T_{ra} (slika 35.).



Slika 35. Odstupanje od ravnosti

Mjerenje ravnosti kutne libele Carl Zeiss 3900 provedena su na trokoordinatnom mjernom uređaju Ferranti. Libela je postavljena na mjernu ploču uređaja u škripac okrenuta baznom površinom prema gore. Pomoću mjernog ticala uređaja obavlja se očitavanje točaka na baznoj površini libele (slika 36.).



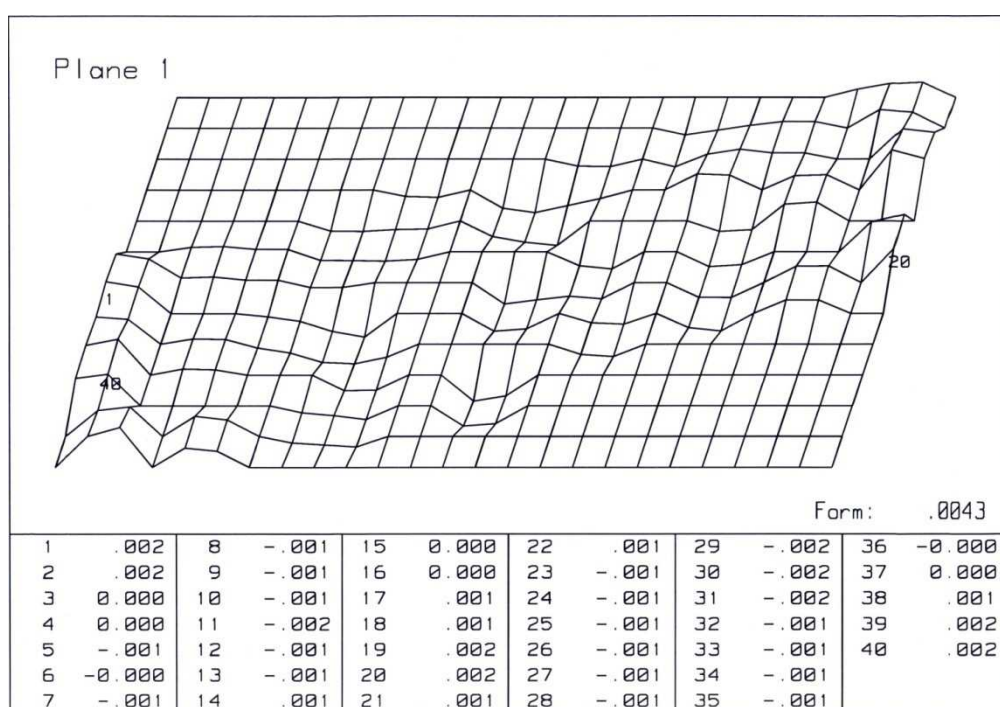
Slika 36. Očitavanje točaka mjernim ticalom na baznoj površini libele Carl Zeiss 3900

Provodi se niz od tri mjerenja za određeni broj točaka koje se softverski obrađuju te se nakon toga dobiju izračunate vrijednosti odstupanja od ravnosti bazne površine libele za svako pojedino mjerenje (tablica 12.).

Tablica 12. Vrijednosti mjerenja odstupanja od ravnosti za libelu Carl Zeiss 3900

Mjerni niz	Broj očitanih točaka mjerenja	Odstupanje od ravnosti [μm]
1	32	4,9
2	37	4,0
3	40	4,3

Za mjerni niz broj 3 od 40 očitanih točaka mjerenja dan je grafički prikaz odstupanja od ravnosti (slika 37.)



Slika 37. Prikaz odstupanja od ravnosti mjernog niza broj 3 za libelu Carl Zeiss 3900

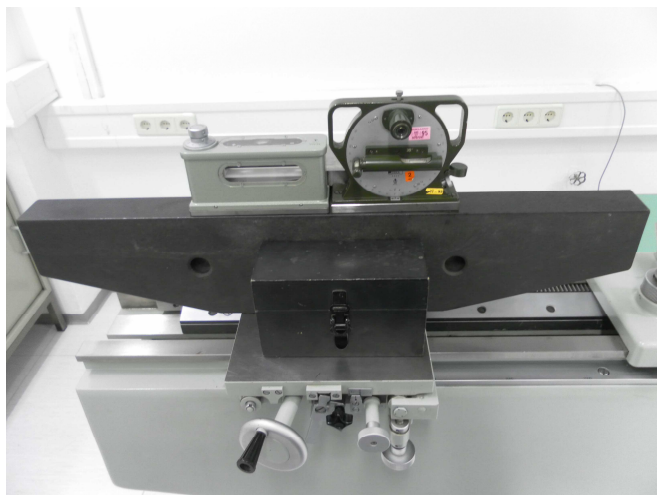
Standardom DIN 877 definirana je tolerancija odstupanja od ravnosti (t_E) u μm prema izrazu:

$$t_E = 8 + \frac{l_B}{125} \rightarrow \text{za } l_B = 46 \text{ mm}; t_E = 8,368 \mu\text{m}$$

Iz navede realcije i usporedbe sa dobivenim vrijednostima mjerenja zaključujemo kako se odstupanje od ravnosti baze libele Carl Zeiss 3900 kreće u dozvoljenim vrijednostima odstupanja.

5.2.5. Postupak ispitivanja podjele skale na kutnoj libeli Carl Zeiss 3900

Za ispitivanje podjele skale kutne libele koristili smo koincidentnu libelu. Rezolucija skale na obje ispitivane libele iznosi 30". Koincidentnu libelu postavili smo na granitni lineal koji se nalazi na nagibnom stolu i do nje paralelno kutnu libelu Carl Zeiss 3900 (slika 38.).



Slika 38. Prikaz pozicioniranja libele Carl Zeiss 3900 na nagibnom stolu radi ispitivanja podjele skale

Postupak ispitivanja podjele skale proveden je na sljedeći način:

- Pomoću preciznog mikrometarskog vijka na nagibnom stolu naginjanjem stola postaviti koincidentnu libelu u nulti položaj odnosno da libela vrhuni (slika 39.).



Slika 39. Nulirani položaj koincidentne libele

- Postaviti mjerenu kutnu libelu tako da se mjehurić pomakne u desno i da njegov kraj tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale kako je prikazano slikom 40.



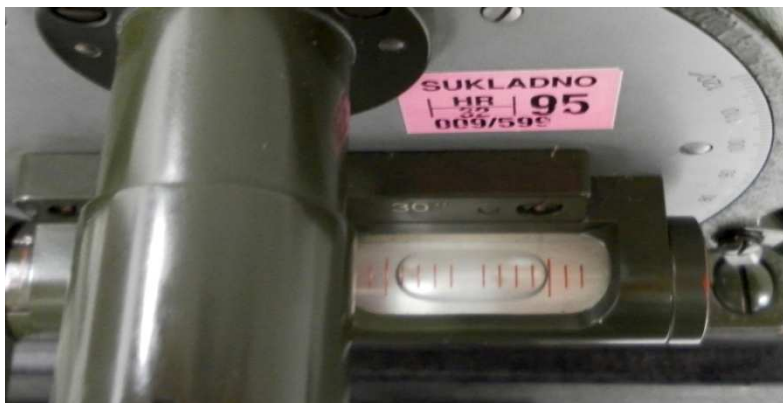
Slika 40. Kraj mjehurića tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale

- Naginjati stol tako da se mjehurić pomakne u desno te da svojim krajem tangira slijedeću uzastopnu oznaku podjele (crtu) kako je prikazano slikom 41. Preciznim mikrometarskim vijkom na koincidentnoj libeli namjestiti nulti položaj i očitati prvu dobivenu vrijednost na koincidentnoj libeli odnosno prvi rezultat odstupanja podjele skale kutne libele (tablica 13.).



Slika 41. Kraj mjehurića tangira prvu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale

- Ponovo naginjati stol tako da se mjehurić pomakne u desno i da svojim krajem tangira drugu uzastopnu oznaku podjele (slika 42.). Pomicanjem preciznog mikrometarskog vijka na koincidentnoj libeli namjestiti nulti položaj i ponovo očitati drugu dobivenu vrijednost na koicidentnoj libeli. Razlika u očitanju druge i prve vrijednosti je drugi rezultat odstupanja podjele skale kutne libele (tablica 13.).



Slika 42. Kraj mjehurića tangira drugu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale

- Nagnuti stol ponovo tako da se mjehurić pomakne u desno te da svojim krajem tangira treću uzastopnu oznaku podjele (slika 43.). Pomoću preciznog mikrometarskog vijka na koincidentnoj libeli namjestiti nulti položaj i opet očitati treću dobivenu vrijednost na koincidentnoj libeli. Razlika u očitaju treće i druge vrijednosti predstavlja treći rezultat odstupanja podjele skale libele (tablica 13.).



Slika 43. Kraj mjehurića tangira treću uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale

- Nakon prvog mjerenja provedena su još dva niza mjerenja kako je opisano s time da se za svaki niz prije mjerenja ponovo nulirala koincidentna libela.
- Gore opisani postupak ispitivanja podjele skale ponovljen je s razlikom da se sada mjehurić pomicao u lijevo tako da njegov kraj opet tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale (tablica 13.).

Tablica 13. Vrijednosti ispitivanja podjele skale za kutnu libelu Carl Zeiss 3900

Pomicanje mjehurića na skali u desno				Mjerni niz						Aritmetička sredina
				I		II		III		
				mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,145	29,91	0,195	40,22	0,190	39,19	36,44"		
	2	0,308 - 0,145 = 0,163	33,62	0,380 - 0,195 = 0,215	38,16	0,360 - 0,190 = 0,170	35,07	35,62"		
	3	0,462 - 0,308 = 0,154	31,76	0,560 - 0,380 = 0,180	37,13	0,535 - 0,360 = 0,175	36,10	35"		

Pomicanje mjehurića na skali u lijevo				Mjerni niz						Aritmetička sredina
				I		II		III		
				mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,173	35,68	0,160	33	0,170	35,07	34,58"		
	2	0,372 - 0,173 = 0,199	41,05	0,357 - 0,160 = 0,197	40,63	0,341 - 0,170 = 0,171	35,27	38,98"		
	3	0,570 - 0,372 = 0,198	40,84	0,538 - 0,357= 0,181	37,33	0,556 - 0,371 = 0,185	38,16	38,78"		

Primjer izračuna vrijednosti odstupanja podjele skale kutne libele za mjerni niz I odstupanja od skale br. 2 pomicanjem mjehurića na skali u desno:

$$0,308 - 0,145 = 0,163 \frac{mm}{m}; \quad tgy = \frac{0,163}{1000} = 1,63 \cdot 10^{-4} \rightarrow$$

$$\rightarrow \gamma = (9,339212 \cdot 10^{-3})^{\circ} = 33,62''$$

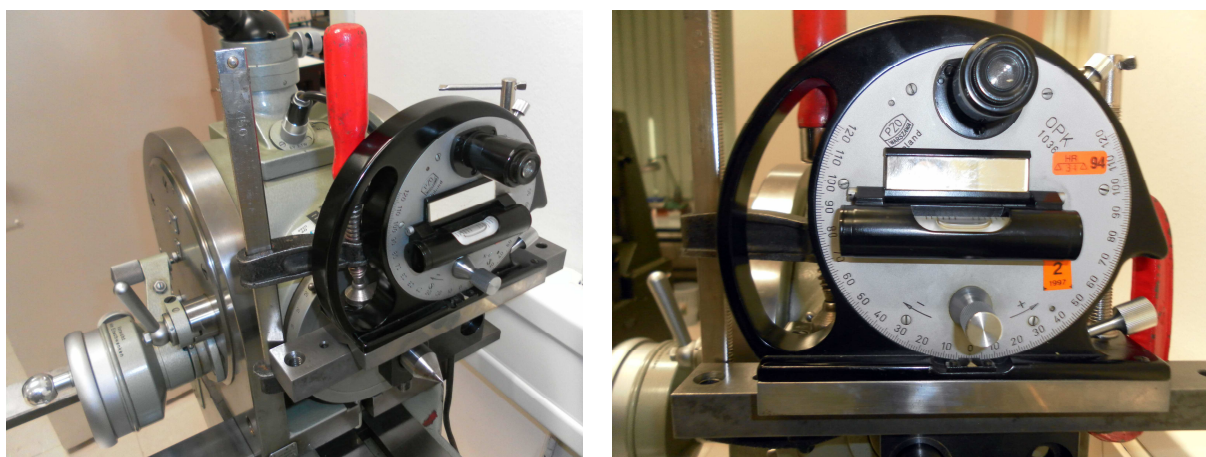
Sve ostale vrijednosti dobivene su istim postupkom proračuna.

Standardima DIN 2276 part 2 i DIN 877 definirano je dozvoljeno odstupanje podjele skale kutne libele koje se kreće u vrijednostima od 6" do 12". Na temelju dobivenih mjerenih vrijednosti i njihovih aritmetičkih sredina može se zaključiti kako je odstupanje podjele skale kutne libele u iznosu od $\pm 10''$ prihvatljivo, odnosno u granicama dozvoljenog. Također iskustveno je utvrđeno da se za kutne libele rezolucija 30" vrijednosti odstupanja podjele skale kreću u iznosu od $\pm 10''$.

5.3. Postupak umjeravanja kutne libele Poland PZO Warszawa

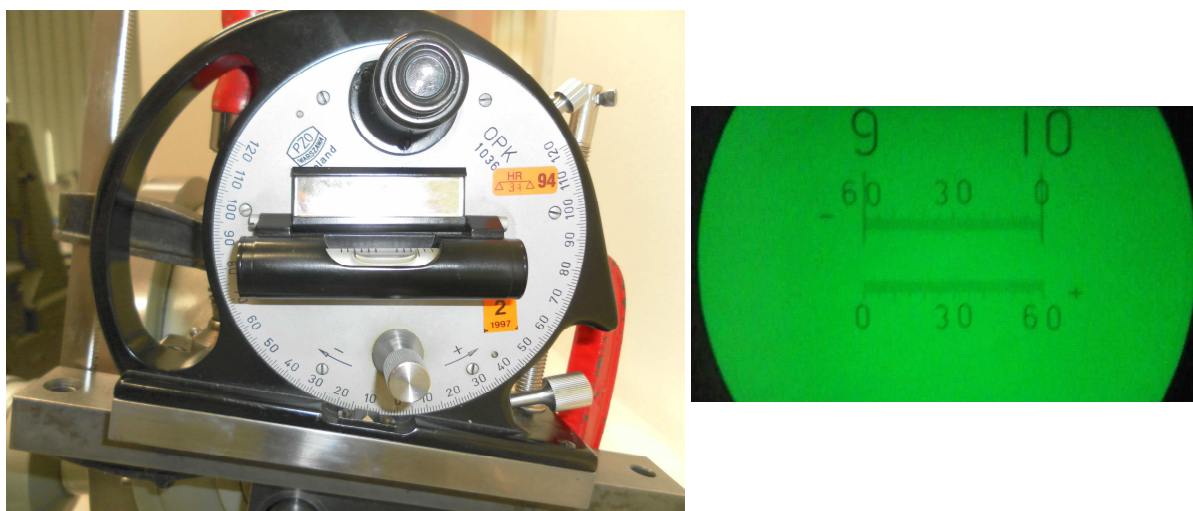
5.3.1. Utvrđivanje odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa

Kutnu libelu Poland PZO Warszawa postavili smo i nivelirali (slika 44.) također na diobenu glavu istim načinom kako je dano opisom za kutnu libelu Carl Zeiss 3900. Postupak mjerenja također se obavljao istim slijedom kao i za kutnu libelu Carl Zeiss 3900.



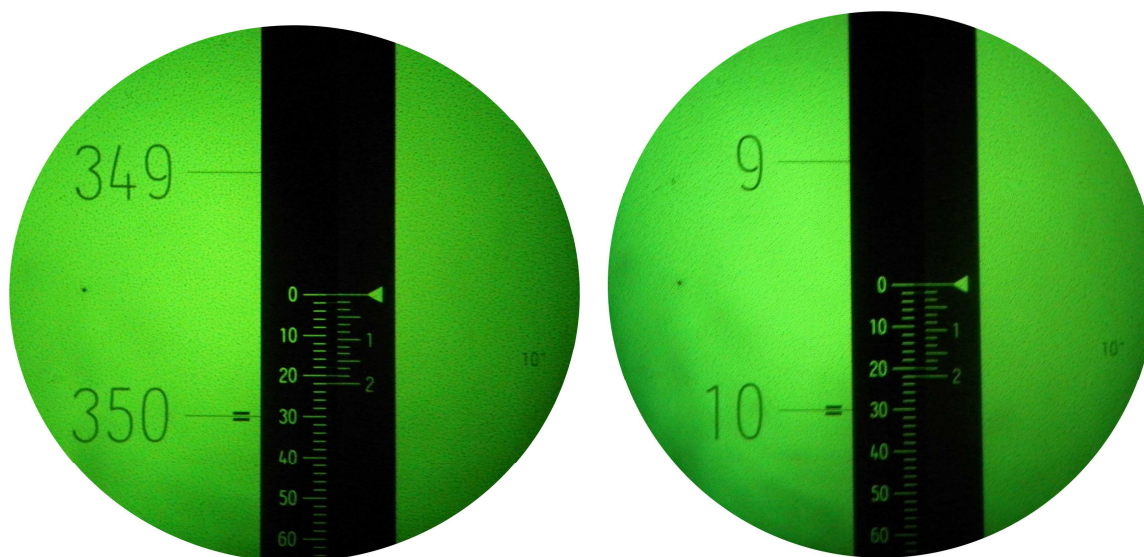
Slika 44. Nulti položaj skale diobene glave i kutne libele Poland PZO Warszawa

Na slici 45. (lijevo) vidi se primjer pozicioniranja kutne libele na 10° u negativnom smjeru (-) skale te na istoj slici (desno) skala nonijusa kutne libele Poland PZO Warszawa nivelirana na 10° .



Slika 45. Namještanje kutne libele Poland PZO u negativnom (-) smjeru skale (lijevo) i skala nonijusa kutne libele Poland PZO pozicionirana na 10°

Slika 46. (lijevo) prikazuje primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost kuta od $10^{\circ}0'0''$ u pozitivnom smjeru (+) kutne libele Poland PZO. Vrijednost od $10^{\circ}0'0''$ odnosi se na sva četiri mjerenja za vrijednost nazivnog kuta od 10° kako se vidi u tablici 14. Na istoj slici (desno) prikazan je primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost kuta također od $10^{\circ}0'0''$ ali u negativnom smjeru (-) kutne libele. Vrijednost dobivena u trećem i četvrtom mjerenju za nazivni kut od 10° što se može vidjeti u tablici 15.

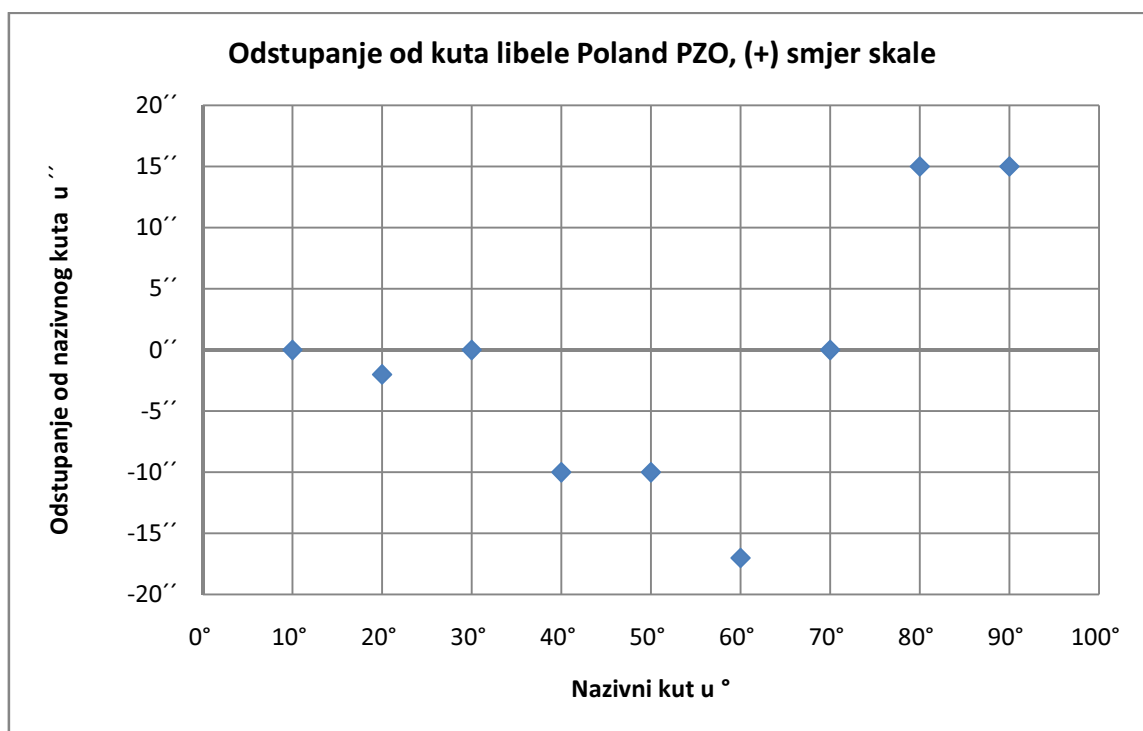


Slika 46. Primjer očitavanja na skali nonijusa diobene glave za vrijednost 10° , (+) smjer kutne libele (lijevo) i očitavanje od 10° , (-) smjer (desno)

Tablicom 14. Prikazani su rezultati mjerenja odstupanja od kuta dobiveni u pozitivnom (+) smjeru skale. Slikom 47. Prikazan je graf odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa u pozitivnom (+) smjeru skale.

Tablica 14. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO, (+) smjer skale

Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Aritmetička sredina	Odstupanje od nazivnog kuta	Raspon
		1	2	3	4			
10	350	10°00'00"	10°00'00"	10°00'00"	10°00'00"	10°00'00"	0"	0"
20	340	19°59'40"	19°59'50"	19°59'50"	19°59'50"	19°59'48"	-2"	10"
30	330	29°59'50"	29°59'50"	29°59'50"	29°59'50"	29°59'50"	0"	0"
40	320	39°59'30"	39°59'50"	40°00'10"	39°59'50"	39°59'50"	-10"	20"
50	310	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	-10"	0"
60	300	59°59'40"	59°59'50"	59°59'40"	59°59'40"	59°59'43"	-17"	10"
70	290	69°59'40"	69°59'40"	69°59'40"	69°59'40"	69°59'40"	0"	0"
80	280	79°59'40"	79°59'50"	79°59'40"	79°59'50"	79°59'45"	15"	10"
90	270	89°59'40"	89°59'50"	89°59'50"	89°59'40"	89°59'45"	15"	10"

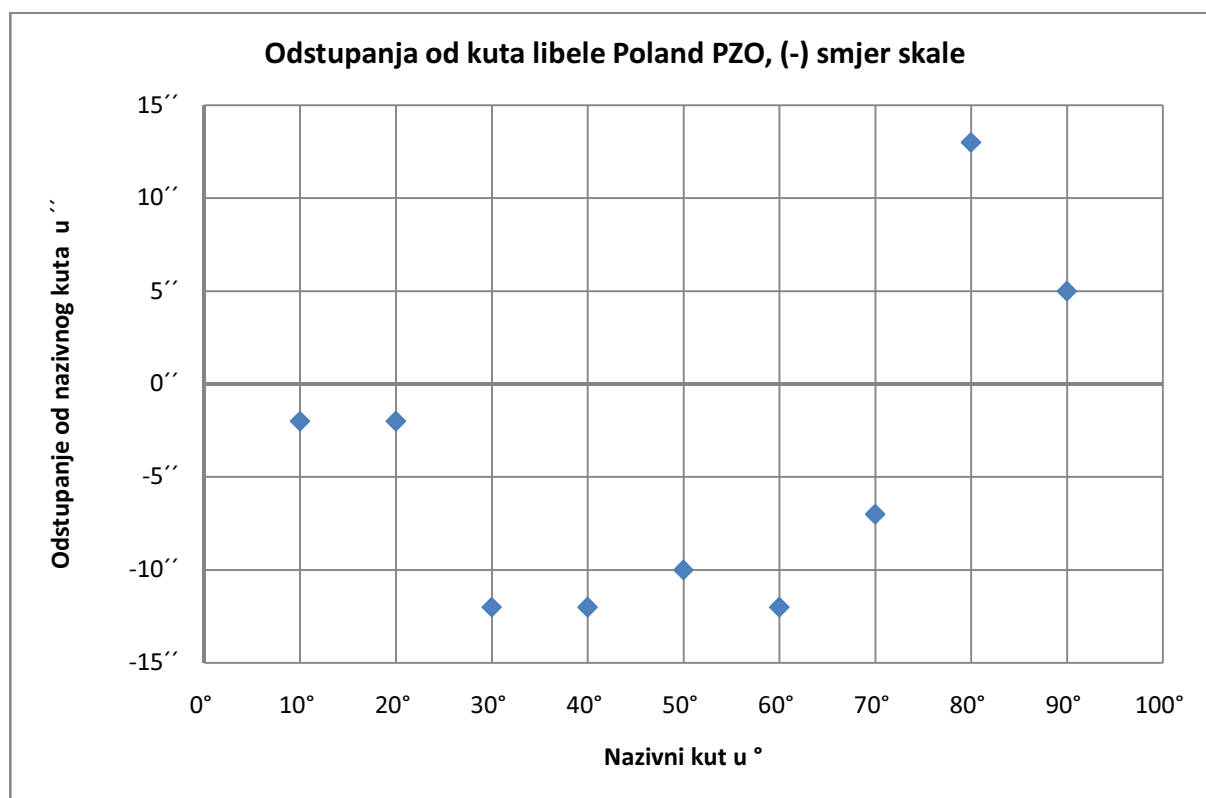


Slika 47. Graf odstupanja od kuta libele Poland PZO, (+) smjer skale

Vrijednosti mjerenja odstupanja od kuta dobivena mjerenjem u negativnom (-) smjeru skale kutne libele Poland PZO Warszawa prikazana su tablicom 15. Graf odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa u negativnom (-) smjeru skale prikazuje slika 48.

Tablica 15. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO, (-) smjer skale

Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Aritmetička sredina	Odstupanje od nazivnog kuta	Raspon
		1	2	3	4			
10	10	10°00'10"	9°59'50"	10°00'00"	10°00'00"	9°59'58"	-2"	10"
20	20	20°00'10"	19°59'40"	19°59'50"	20°00'10"	19°59'58"	-2"	30"
30	30	29°59'50"	29°59'50"	29°59'50"	29°59'40"	29°59'48"	-12"	10"
40	40	39°59'50"	39°59'40"	39°59'50"	39°59'50"	39°59'48"	-12"	10"
50	50	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	49°59'50"	-10"	00"
60	60	59°59'50"	59°59'50"	59°59'40"	59°59'50"	59°59'48"	-12"	10"
70	70	69°59'40"	69°59'50"	69°59'50"	70°00'10"	69°59'53"	-7"	30"
80	80	80°00'20"	80°00'10"	80°00'10"	80°00'10"	80°00'13"	13"	10"
90	90	90°00'10"	89°59'50"	90°00'10"	90°00'10"	90°00'05"	5"	20"



Slika 48. Graf odstupanja od kuta libele Poland PZO, (-) smjer skale

5.3.2. Postupak ispitivanja vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa

Postupak ispitivanja vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa odvija se na identičan način kako je opisano u poglavlju 5.2.2. za kutnu libelu Carl Zeiss 3900. Slika 49. Prikazuje ispitivanje vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa.



Slika 49. Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa

Ponovljeni postupak vrhunjenja za libelu Poland PZO Warszawa zakrenutu za 180° prikazuje slika 50. Također se utvrđuje da libela dobro vrhuni, tj. odstupanje mjehurića od nultog položaja je manje od $12''$.



Slika 50. Ispitivanje vrhunjenja kutne libele Poland PZO Warszawa zakrenute za 180°

5.3.3. Postupak ispitivanja točnosti kuta kutne libele Poland PZO Warszawa pomoću sinus lineala

Kako je već opisano u poglavlju 5.2.3. postupak ispitivanja točnosti kutne libele Poland PZO Warszawa proveden je na identičan način kao što je to bio slučaj s kutnom libelom Carl Zeiss 3900. Ispitivanje je potvrdilo da je odstupanje mjehurića pri 30° od nultog položaja neznatno odnosno zadovoljavajuće za mjerno područje kutne libele.

5.3.4. Mjerenje ravnosti bazne površine kutne libele Poland PZO Warszawa

Mjerenje ravnosti kutne libele Poland PZO Warszawa provedena su također korištenjem trokoordinatnog mjernog uređaja Ferranti kako je to opisano u poglavlju 5.2.4. Slika 51. prikazuje očitavanje točaka mjernim ticalom na baznoj površini libele Poland PZO Warszawa.

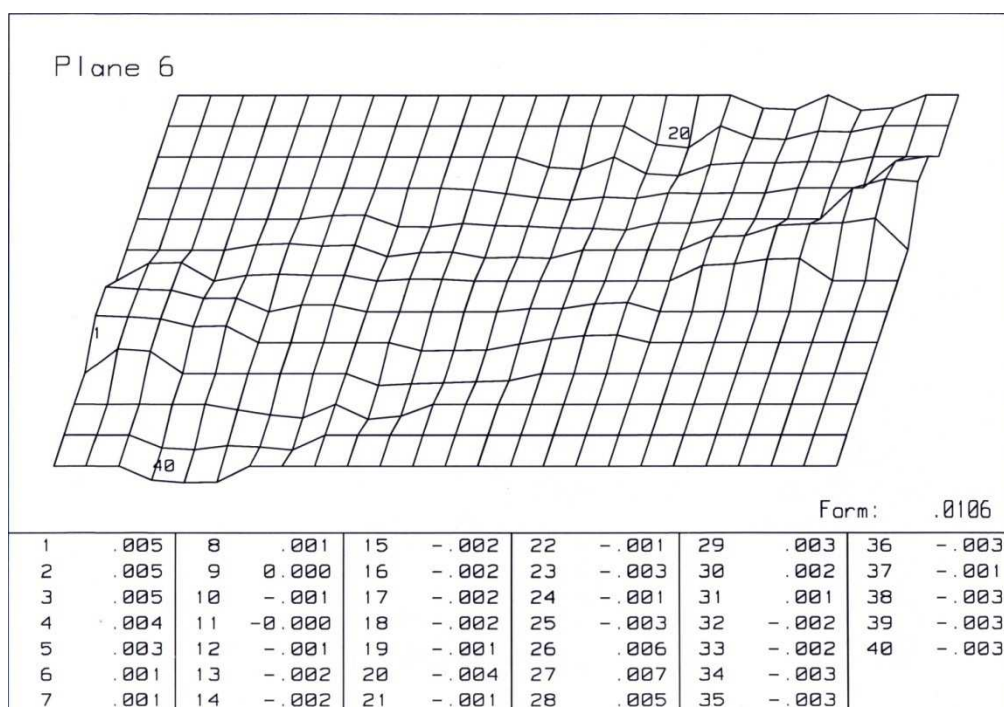


Slika 51. Očitavanje točaka mjernim ticalom na baznoj površini libele Poland PZO Warszawa
Provedeno je mjerenje ravnosti u 3 mjerna niza koji se softverski obrađuju te se nakon toga dobiju izračunate vrijednosti odstupanja od ravnosti bazne površine libele za svako pojedino mjerenje kako prikazuje tablica 16.

Tablica 16. Vrijednosti mjerenja odstupanja od ravnosti za libelu Poland PZO Warszawa

Mjerni niz	Broj očitanih točaka mjerenja	Odstupanje od ravnosti [μm]
1	35	11,4
2	40	10,4
3	40	10,6

Za mjerni niz broj 3 od 40 očitanih točaka mjerenja, slikom 52. prikazan je je grafički prikaz odstupanja od ravnosti za kutnu libelu Poland PZO Warszawa.



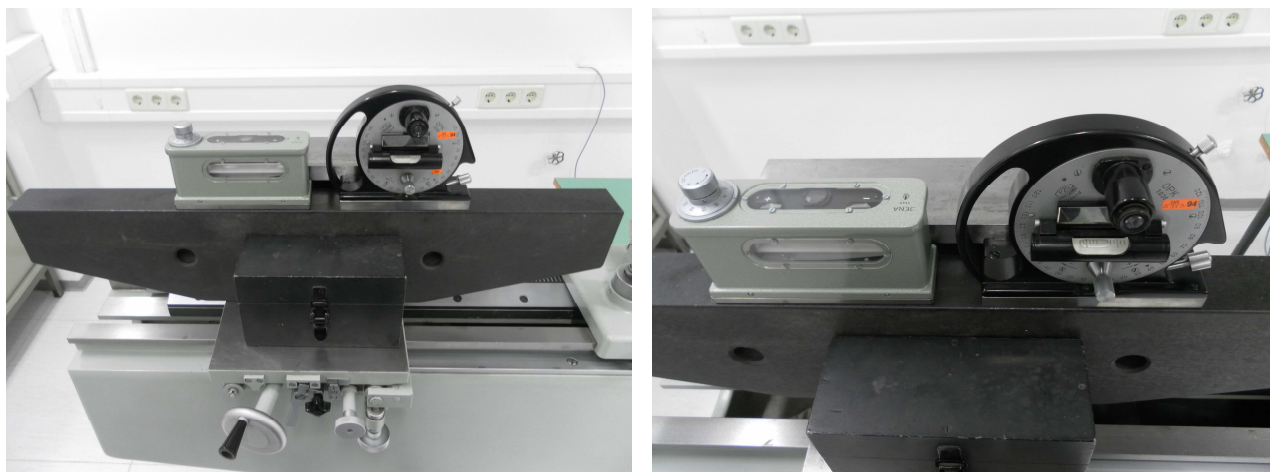
Slika 52. Prikaz odstupanja od ravnosti mjernog niza broj 3 za libelu Poland PZO Warszawa
Standardom DIN 877 definirana je tolerancija odstupanja od ravnosti (t_E) u μm prema izrazu:

$$t_E = 8 + \frac{l_B}{125} \rightarrow \text{za } l_B = 46 \text{ mm}; t_E = 8,368 \mu\text{m}$$

Iz navede realcije i usporedbe sa dobivenim vrijednostima mjerenja zaključujemo kako se odstupanje od ravnosti baze libele Poland PZO Warszawa kreće izvan dozvoljenih vrijednosti odstupanja.

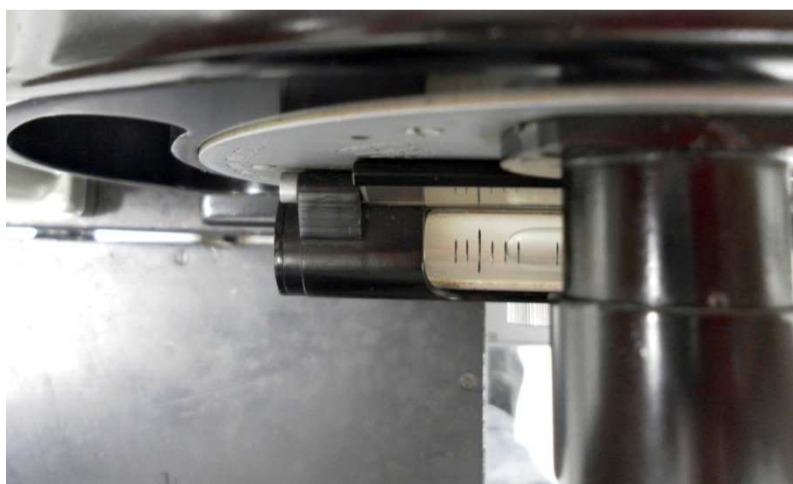
5.3.5. Postupak ispitivanja podjele skale na kutnoj libeli Poland PZO Warszawa

Ispitivanje podjele skale na kutnoj libeli Poland PZO Warszawa provedeno je na identičan način kao za kutnu libelu Carl Zeiss 3900 kako je opisano u poglavlju 5.2.5.



Slika 53. Prikaz pozicioniranja libele Poland PZO Warszawa na nagibnom stolu radi ispitivanja podjele skale

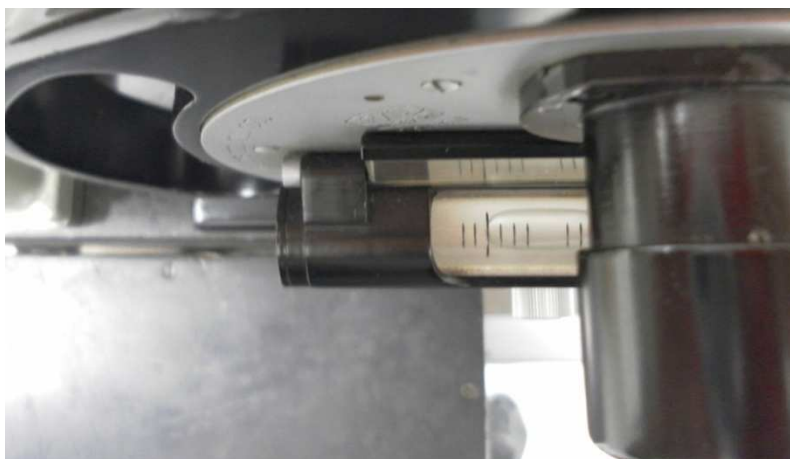
Na slikama 54, 55, 56 i 57. prikazan je slučaj mjerenja za kutnu libelu Poland PZO Warszawa kada je mjehurić pomican u lijevo tako da njegov kraj opet tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale.



Slika 54. Kraj mjehurića tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale



Slika 55. Kraj mjehurića tangira prvu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale



Slika 56. Kraj mjehurića tangira drugu uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale



Slika 57. Kraj mjehurića tangira treću uzastopnu oznaku (crtu) podjele skale

Tablica 17. prikazuje vrijednosti ispitivanja podjele skale kutne libele Poland PZO Warszawa za mjerni niz od 3 mjerenja za pomicanje mjehurića u desno i u lijevo.

Tablica 17. Vrijednosti ispitivanja podjele skale za kutnu libelu Poland PZO Warszawa

Pomicanje mjehurića na skali u desno			Mjerni niz						Aritmetička sredina
			I		II		III		
			mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,195	40,22	0,178	36,72	0,174	35,89	37,61"	
	2	0,330 - 0,195 = 0,135	27,85	0,354 - 0,178 = 0,176	36,3	0,313 - 0,174 = 0,139	28,67	29,57"	
	3	0,466 - 0,330 = 0,136	28,05	0,485 - 0,354 = 0,131	27,02	0,432 - 0,313 = 0,119	24,55	26,54"	

Pomicanje mjehurića na skali u lijevo			Mjerni niz						Aritmetička sredina
			I		II		III		
			mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,186	38,37	0,181	37,33	0,195	40,22	38,64"	
	2	0,372 - 0,186 = 0,186	38,37	0,356 - 0,181 = 0,175	36,10	0,384 - 0,195 = 0,189	38,98	37,82"	
	3	0,566 - 0,372 = 0,194	40,02	0,545 - 0,356 = 0,189	38,98	0,561 - 0,384 = 0,177	36,51	38,50"	

Prema dobivenim vrijednostima mjerenja i njihovih aritmetičkih sredina te dozvoljenog odstupanja prema standardima DIN 2276 Part 2 i DIN 877 koja se kreću od 6" do 12" može se zaključiti da je odstupanje podjele skale kutne libele zadovoljavajuće jer su dobivene vrijednosti $\pm 10''$.

6. MJERNA NESIGURNOST

Mjerna nesigurnost definirana je kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost.

Mjerenja nisu savršena kako zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka i vlage ili neiskustvo mjeritelja, nesavršenost uređaja i osjetila) tako izbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja, utjecaj mjeritelja pri očitavanju analogne skale, nesigurnost vrijednosti referentnog etalona itd.). Mjerna nesigurnost je upravo posljedica djelovanja slučajnih utjecaja i ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja.

Mjernu nesigurnost upravo zato procjenjujemo radi nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe mjernih rezultata dobivenih u različitim umjernim i ispitnim laboratorijima te radi usporedbe mjernih rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadanom tolerancijom.

Kako bi odredili mjernu nesigurnost odstupanja od kuta za kutne libele Carl Zeiss 3900 i Poland PZO Warszawa prvo je neophodno bilo izraditi proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti.

6.1. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900

6.1.1. Matematički model mjerenja

Za proračun mjerne nesigurnosti neophodno je prvo postaviti matematički model mjerenja. Nakon razmatranja utjecajnih veličina matematički model je postavljen kako slijedi:

$$\alpha_e = \alpha_{ref} + \delta\alpha + \delta\alpha_D + \delta\alpha_K + \delta\alpha_M + \delta\alpha_{KM}$$

pri čemu je:

- α_e - kut umjeravane kutne libele
- α_{ref} - referentni kut optičke diobene glave
- $\delta\alpha$ - izmjerena razlika kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene glave
- $\delta\alpha_D$ - korekcija zbog procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave
- $\delta\alpha_K$ - korekcija zbog namještanja skale kutne libele
- $\delta\alpha_M$ - korekcija zbog mehaničkih utjecaja
- $\delta\alpha_{KM}$ - korekcija uslijed nesigurnosti niveliranja ampule (staklene cijevi) s mjehurićem na kutnoj libeli

Kut kutne libele α_e , odnosno nesigurnost dobivenog rezultata, u funkciji je sljedećih veličina:

$$\alpha_e = f(\alpha_{ref}, \delta\alpha, \delta\alpha_D, \delta\alpha_K, \delta\alpha_M, \delta\alpha_{KM})$$

6.1.2. Procjena utjecajnih veličina

6.1.2.1. Nesigurnost umjeravanja referentnog kuta optičke diobene glave $u(\alpha_{ref})$

Nesigurnost korekcije kuta optičke diobene glave proizlazi iz Izvešća o ispitivanju broj 0268-09. Ispitivanje optičke diobene glave izvršeno je korištenjem 12-straničnog poligona i autokolimatora „Hilger & Watts“. Prema LFSB Izvješću mjerna nesigurnost uz faktor pokrivanja $k = 2$ i $P = 95\%$ iznosi $U(\alpha_{ref}) = 5''$.

Stoga je standardna nesigurnost:

$$u(\alpha_{ref}) = \frac{U(\alpha_{ref})}{k} = \frac{5''}{2} = 2,5''$$

$$u(\alpha_{ref}) = 2,5''$$

6.1.2.2. Nesigurnost izmjerene razlike kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene $u(\delta\alpha)$

Nesigurnost izmjerene razlike kuta između umjeravane kutne libele i optičke diobene glave procijenjenja je na osnovu 18 mjernih nizova za određeni nazivni kut kako je prikazano tablicom 18.

Mjerenja su provedena u uvjetima ponovljivosti koji uključuju: istu optičku diobenu glavu i kutnu libelu, istog mjeritelja, konstantne uvjete okoline i višestruko mjerenje u kratkom vremenskom intervalu. Za svaki nazivni kut izvršeno je četiri ponovljena mjerenja.

Tablica 18. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Carl Zeiss 3900

	Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Standardno odstupanje s_i	Zbirna procjena standardnog odstupanja s_p
			1	2	3	4		
Pozitivan (+) smjer skale	10	350	10,002777°	10,002777°	10,011111°	10,000000°	0,004811°	0,007167205° ili 25,80''
	20	340	20,008333°	20,002778°	20,013888°	20,002778°	0,005319°	
	30	330	30,013889°	30,008333°	30,027778°	30,013889°	0,008295°	
	40	320	40,013889°	40,011111°	40,027778°	40,016667°	0,007305°	
	50	310	50,022222°	50,013889°	50,030556°	50,030556°	0,007979°	
	60	300	60,025000°	60,019444°	60,038889°	60,030556°	0,008295°	
	70	290	70,025000°	70,005556°	70,022222°	70,030556°	0,010758°	
	80	280	80,027778°	80,005556°	80,005556°	80,027778°	0,012830°	
	90	270	90,027778°	90,013889°	90,030556°	90,038889°	0,010393°	
Negativan (-) smjer skale	10	10	9,994444°	9,997222°	9,991667°	9,997222°	0,002660°	
	20	20	19,994444°	19,997222°	19,994444°	19,997222°	0,001604°	
	30	30	29,988889°	29,997222°	29,994444°	29,994444°	0,003495°	
	40	40	39,988889°	40,002778°	39,991667°	39,997222°	0,006159°	
	50	50	49,988889°	49,997222°	49,997222°	50,002778°	0,005727°	
	60	60	59,991667°	60,002778°	59,994444°	60,005556°	0,006612°	
	70	70	69,988889°	70,002778°	69,997222°	70,002778°	0,006564°	
	80	80	79,994444°	80,005556°	80,005556°	80,008333°	0,006159°	
	90	90	90,002778°	90,008333°	90,005556°	90,011111°	0,003586°	

Vrijednosti standardnog odstupanja dobivene su prema izrazu:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Zbirna procjena standardnog odstupanja s_p iznosi:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{18} s_i}{n}}$$

$$\text{uz } n = 18; s_p(\delta\alpha) = 25,80''$$

Standardna nesigurnost izmjerenih razlika za devet ponovljenih mjerenja koliko se izvodi u postupku umjeravanja iznosi:

$$u(\delta\alpha) = s(\overline{\delta\alpha}) = \frac{25,80''}{\sqrt{18}} = 6,08''$$

6.1.2.3. Nesigurnost uslijed procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave $u(\delta\alpha_D)$

Optička diobena glava ima rezoluciju skale nonijusa od $10''$. Standardna nesigurnost procijene očitavanja, uz pretpostavku pravokutne razdiobe, iznosi:

$$u(\delta\alpha_D) = \frac{10''}{\sqrt{3}} = 5,77''$$

6.1.2.4. Nesigurnost uslijed namještana skale kutne libele $u(\delta\alpha_K)$

Iskustveno je utvrđeno da uslijed očitavanja može doći do nesigurnosti uslijed namještanja u iznosu od $10''$. Pretpostavljajući pravokutnu razdiobu standardna nesigurnost iznosi:

$$u(\delta\alpha_K) = \frac{10''}{\sqrt{3}} = 5,77''$$

6.1.2.5. Nesigurnost uslijed mehaničkih utjecaja $u(\delta\alpha_M)$

Djelovanje mehaničkih utjecaja iskustveno se procjenjuje u iznosu od $10''$. Standardnu nesigurnost se može procijeniti pravokutnom razdiobom u granicama od $\pm 10''$. Prema tome standardna nesigurnost iznosi:

$$u(\delta\alpha_M) = \frac{10''}{\sqrt{3}} = 5,77''$$

6.1.2.6. Nesigurnost uslijed niveliranja ampule (staklene cijevi) s mjehurićem na kutnoj libeli $u(\delta\alpha_{KM})$

Iskustveno je utvrđeno da očitavanjem ampule s mjehurićem na kutnoj libeli nesigurnost iznosi $5''$. Uz pretpostavku pravokutne razdiobe standardna nesigurnost iznosi:

$$u(\delta\alpha_{KM}) = \frac{5''}{\sqrt{3}} = 2,89''$$

6.1.3. Sastavljena standardna nesigurnost $u_c(\alpha_e)$

Nakon određivanja matematičkog modela mjerenja i utjecajnih veličina pristupa se izračunu sastavljene standardne mjerne nesigurnosti prema slijedećoj jednadžbi:

$$u_c^2(\alpha_e) = c_{\alpha_{ref}}^2 u^2(\alpha_{ref}) + c_{\delta\alpha}^2 u^2(\delta\alpha) + c_{\delta\alpha_D}^2 u^2(\delta\alpha_D) + c_{\delta\alpha_K}^2 u^2(\delta\alpha_K) + c_{\delta\alpha_M}^2 u^2(\delta\alpha_M) + c_{\delta\alpha_{KM}}^2 u^2(\delta\alpha_{KM})$$

gdje su koeficijenti osjetljivosti c_i dani slijedećom tablicom:

Tablica 19. Koeficijenti osjetljivosti

x_i	$c_i = \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\partial x_i}$
$u(\alpha_{ref})$	1
$u(\delta\alpha)$	1
$u(\delta\alpha_D)$	1
$u(\delta\alpha_K)$	1
$u(\delta\alpha_M)$	1
$u(\delta\alpha_{KM})$	1

Tablica 20. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti
$u(\alpha_{ref})$	Referentni kut diobene glave	2,5"	1	Normalna	2,5"
$u(\delta\alpha)$	Ponovljivost očitavanja	6,08"	1	Normalna	6,08"
$u(\delta\alpha_D)$	Očitavanje skale nonijusa na diobenoj glavi	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_K)$	Namještanje skale kutne libele	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_M)$	Mehanički utjecaji	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_{KM})$	Nesigurnost niveliranja ampule s mjehurićem na kutnoj libeli	2,89"	1	Pravokutna	2,89"

Sastavljena standardna nesigurnost mjerene veličine α_E stoga iznosi:

$$u_c(\alpha_e) = 12,31''$$

Pregled svih sastavnica standardnih nesigurnosti, njihovih uzroka, koeficijenata osjetljivosti i doprinosa mjernoj nesigurnosti dan je u tablici 20.

6.1.4. Proširena mjerna nesigurnost

Iznos proširene mjerne nesigurnosti dobijemo množenjem iznosa sastavljene standardne mjerne nesigurnosti $u_c(\alpha_e)$ sa faktorom pokrivanja $k = 2$; $P = 95\%$.

$$U = k \cdot u_c(\alpha_e) = 2 \cdot 12,31'' = 24,62''$$

Uz pretpostavku normalne razdiobe i uz faktor pokrivanja $k = 2$ ($P = 95\%$) proširena mjerna nesigurnost iznosi:

$$\mathbf{U = 24,62''; \quad k = 2, \quad P = 95\%}$$

6.2. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja kuta kutne libele Poland PZO Warszawa brojčano su iste osim sastavnice ponovljivost očitavanja $u(\delta\alpha)$.

Nesigurnost izmjerene razlike kuta između umjeravane kutne libele i optičke diobene glave procijenjenja je na osnovu 18 mjernih nizova za određeni nazivni kut kako je prikazano tablicom 21.

Tablica 21. Rezultati mjerenja odstupanja od kuta libele Poland PZO Warszawa

	Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Standardno odstupanje s_i	Zbirna procjena standardnog odstupanja s_p
			1	2	3	4		
Pozitivan (+) smjer skale	10	350	10°	10°	10°	10°	0°	0,002104663° ili 7,58''
	20	340	19,994444°	19,997222°	19,997222°	19,997222°	0,001389°	
	30	330	29,997222°	29,997222°	29,997222°	29,997222°	0°	
	40	320	39,991667°	39,997222°	40,002778°	39,997222°	0,004536°	
	50	310	49,997222°	49,997222°	49,997222°	49,997222°	0°	
	60	300	59,994444°	59,997222°	59,994444°	59,994444°	0,001389°	
	70	290	69,994444°	69,994444°	69,994444°	69,994444°	0°	
	80	280	79,994444°	79,997222°	79,994444°	79,997222°	0,001604°	
	90	270	89,994444°	89,997222°	89,997222°	89,994444°	0,001604°	
Negativan (-) smjer skale	10	10	10,002778°	9,997222°	10°	10°	0,002268°	
	20	20	20,002778°	19,994444°	19,997222°	20,002778°	0,004167°	
	30	30	29,997222°	29,997222°	29,997222°	29,994444°	0,001389°	
	40	40	39,997222°	39,994444°	39,997222°	39,997222°	0,001389°	
	50	50	49,997222°	49,997222°	49,997222°	49,997222°	0°	
	60	60	59,997222°	59,997222°	59,994444°	59,997222°	0,001389°	
	70	70	69,994444°	69,997222°	69,997222°	70,002778°	0,003495°	
	80	80	80,005556°	80,002778°	80,002778°	80,002778°	0,001389°	
	90	90	90,002778°	89,997222°	90,002778°	90,002778°	0,002778°	

Vrijednosti standardnog odstupanja dobivene su prema izrazu:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Zbirna procjena standardnog odstupanja s_p iznosi:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{18} s_i^2}{n}}$$

$$\text{uz } n = 18; s_p(\delta\alpha) = 7,58''$$

Standardna nesigurnost izmjerenih razlika za devet ponovljenih mjerenja koliko se izvodi u postupku umjeravanja iznosi:

$$u(\delta\alpha) = s(\delta\alpha) = \frac{7,58''}{\sqrt{18}} = 1,79''$$

Sastavljena standardna nesigurnost mjerene veličine α_E stoga iznosi:

$$u_c(\alpha_e) = 10,85''$$

Pregled svih sastavnica standardnih nesigurnosti, njihovih uzroka, koeficijenata osjetljivosti i doprinosa mjernoj nesigurnosti dan je u tablici 22.

Tablica 22. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele Poland PZO Warszawa

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti
$u(\alpha_{ref})$	Referentni kut diobene glave	2,5''	1	Normalna	2,5''
$u(\delta\alpha)$	Ponovljivost očitavanja	1,79''	1	Normalna	1,79''
$u(\delta\alpha_D)$	Očitavanje skale nonijusa na diobenoj glavi	5,77''	1	Pravokutna	5,77''
$u(\delta\alpha_K)$	Namještanje skale kutne libele	5,77''	1	Pravokutna	5,77''
$u(\delta\alpha_M)$	Mehanički utjecaji	5,77''	1	Pravokutna	5,77''
$u(\delta\alpha_{KM})$	Nesigurnost niveliranja ampule s mjehurićem na kutnoj libeli	2,89''	1	Pravokutna	2,89''

Iznos proširene mjerne nesigurnosti dobijemo množenjem iznosa sastavljene standardne mjerne nesigurnosti $u_c(\alpha_e)$ sa faktorom pokrivanja $k = 2$; $P = 95\%$.

$$U = k \cdot u_c(\alpha_e) = 2 \cdot 10,85'' = 21,7''$$

Uz pretpostavku normalne razdiobe i uz faktor pokrivanja $k = 2$ ($P = 95\%$) proširena mjerna nesigurnost iznosi:

$$U = 21,7''; \quad k = 2, \quad P = 95 \%$$

ZAKLJUČAK

Libele se upotrebljavaju za određivanje nagiba ispitne površine prema horizontali ili vertikali i to u pravilu za manje vrijednosti nagiba. Prema obliku ih možemo podijeliti na cijevne i kružne, a prema konstrukcijskim izvedbama na: tehničke, koincidentne, kutne i elektroničke.

Slijedom mjerne opreme kojom Laboratorij za precizna mjerenja dužina raspolaže, u okviru ovog rada, razrađen je postupak provjere značajki dviju kutnih libela različitih proizvođača. Za odabrane kutne libele definirana je optimalna metoda ispitivanja točnosti, te je navedena sljedivost u postupku utvrđivanja odstupanja od kuta.

U radu definirane značajke kutnih libela koje valja ispitati su sljedeće:

1. Utvrđivanje odstupanja od kuta mjernih kutnih libela.
2. Ispitivanje vrhunjenja kutnih libela.
3. Ispitivanje točnosti kuta kutnih libela pomoću sinus lineala.
4. Utvrđivanje odstupanja od ravnosti baznih površina kutnih libela.
5. Ispitivanje podjele skale kutnih libela.

Ad 1) Ovim postupkom provodio se niz mjerenja u pozitivnom i negativnom smjeru skale kružnog mjerila kutne libele za određeni nazivni kut kako bi se utvrdile vrijednosti odstupanja od nazivnog kuta.

Ad 2) Postupak umjeravanja pomoću kojeg je utvrđeno odstupanje mjehurića kutne libele od nultog položaja.

Ad 3) Ovaj postupak umjeravanja služi za određivanje odstupanja mjehurića kutne libele punog kuta za pozitivan i negativan smjer skale kružnog mjerila.

Ad 4) Mjerenjem ravnosti utvrđuje se odstupanje od ravnosti bazne površine kutnih libela.

Ad 5) Postupak umjeravanja kojim se mogu odrediti odstupanja podjele skale kutnih libela.

Na temelju rezultata umjeravanja obiju kutnih libela može se zaključiti kako kutna libela Carl Zeiss 3900 u svim odabranim postupcima umjeravanja u potpunosti odgovara propisanim normama DIN 877, DIN 2276 Part1 i DIN 2276 Part 2. Mjereni rezultati ispitivanja u dozvoljenim su vrijednostima prema navedenim normama.

Kutna libela Poland PZO Warszawa zadovoljava u svim segmentima umjeravanja osim za mjerenje ravnosti baze površine. Naime vrijednost odstupanja od ravnosti iznosi $\sim 2,5 \mu\text{m}$ što se pokazalo nedovoljnim da značajno utječe na vrijednosti ostalih postupaka umjeravanja u kojima kutna libela zadovoljava prema propisanim normama.

Ovako definiranom metodom mjerenja pokazano je da se mogu precizno odrediti propisane točnosti mjerenih kutnih libela.

Za postupak utvrđivanja odstupanja od kuta definirana je i mjerna neigurnost kako bi se usporedili dobiveni mjereni rezultati sa specifikacijom proizvođača. Postavljeni matematički model mjerenja, procjena utjecajnih veličina i izračun sastavljene standardne mjerne nesigurnosti obiju mjerenih kutnih libela pokazali su da interval proširene mjerne nesigurnosti zadovoljava specifikacije proizvođača. Tu tezu potvrđuju iskazane mjere nesigurnosti pri umjeravanju odstupanja od kuta koje iznose:

- za kutnu libelu Carl Zeiss 3900: $U = 24,62''$; $k = 2$, $P = 95 \%$;
- za kutnu libelu Poland PZO Warszawa: $U = 21,7''$; $k = 2$, $P = 95 \%$.

Na temelju ovih ispitivanja izrađen je tehnički postupak koji detaljno razrađuje opisane postupke umjeravanja dimenzionalnih i funkcionalnih značajki kutnih libela.

PRILOZI

- I. Prilog 1: BRITANSKI STANDARD (BS 958: 1968) ZA UPOTREBU LIBELA U PRECIZNOM MJERENJU - PRIJEVOD;
- II. Prilog 2: Fotokopije standarada BS 958: 1968 na engleskom jeziku te DIN 877, DIN 2276 Part 1 i DIN 2276 Part 2 na njemačkom jeziku;
- III. Prilog 3: POSTUPAK ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA.

Prilog 1:
BRITANSKI STANDARD (BS 958: 1968)
ZA UPOTREBU LIBELA U PRECIZNOM MJERENJU - PRIJEVOD

BRITANSKI STANDARD (BS 958: 1968) ZA UPOTREBU LIBELA U PRECIZNOM MJERENJU

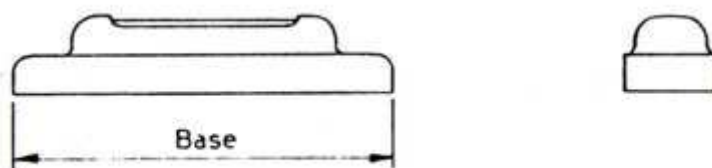
Od prvog objavljivanja 1941. godine, libele su postale općenito prihvaćene kao mjerni uređaji za upotrebu u preciznom mjerenju. Libele osiguravaju brz i točan način provjere pravocrtosti i ravnosti površina, također služe kao reference za ispitivanje druge precizne mjerne opreme poput ploča od lijevanog željeza, stolova.

1. Specifikacija

Ovom normom specificiraju se zahtjevi za libele prilikom upotrebe u preciznom mjerenju. Norma razlikuje tri tipa libela kako slijedi:

➤ Tip 1.

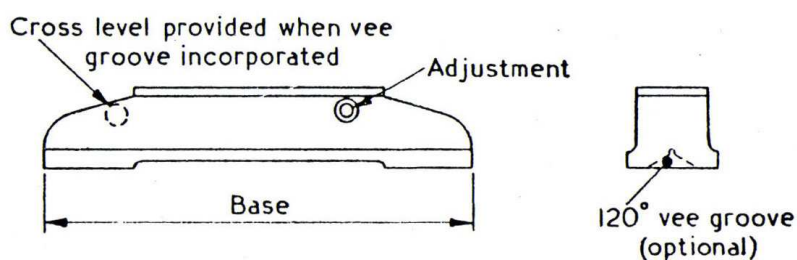
Libela s ravnom bazom od brušenog kaljenog čelika. Ovaj tip libele obično se proizvodi sa dužinom baze od (100 - 200) mm. Prednost mehanički obrađene baze lepovanjem je ta da dužina baze može varirati ovisno o željenoj duljini.



Slika 58. Libela tip 1

➤ Tip 2.

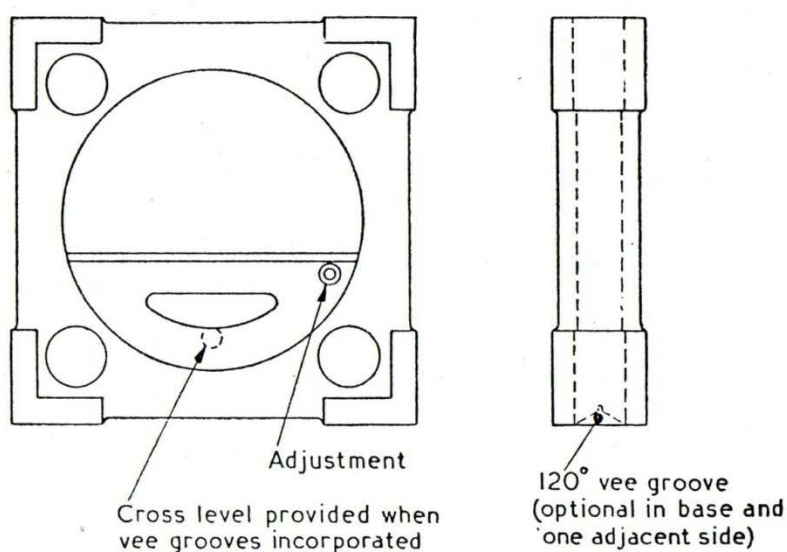
Libela, pričvršćena na osnovu, gdje je trup izrađen od lijevanog čelika s ravnom bazom za nalijeganje na dva kraja, drugim rječima srednji dio je uklonjen. Površine za nalijeganje mogu biti ravne ili sa uzdužnim V-žlijebom pod 120° za upotrebu na cilindričnim površinama. U potonjem slučaju dodatno mora postojati poprečno kratka staklena cijev s mjehurićem. Ovakvi tipovi libela obično se rade sa dužinom baze od (250 - 500) mm.



Slika 59. Libela tip 2

➤ Tip 3.

Libela kvadratnog oblika (okvirna libela) uobičajno se izrađuje iz lijevanog čelika sa kvadratnim okvirom dužine stranica 200 mm. Postoje četiri ravne površine za nalijezanje koje mogu biti izvedene bez srednjeg dijela; alternativno bazna i jedna susjedna površina mogu sadržavati udužni V-žlijeb pod 120° za upotrebu na cilindričnim površinama. U potonjem slučaju libela mora imati kratku staklenu cijev s mjehurićem.



Slika 60. Libela tip 3

2. Rezolucija

Preporučena rezolucija za namjenu u općenitim slučajevima preciznih mjerenja je slijedeća:

Tip libele	Rezolucija (Vrijednost jedne podjele skale)
Tip 1	0,0025 mm na 100 mm (približno 5 sekundi) ili 0,005 mm na 100 mm (približno 10 sekundi*)
Tip 2 i 3	0,005 mm na 100 mm (približno 10 sekundi) ili 0,010 mm na 100 mm (približno 20 sekundi*)
*5 sekundi = 0,002425 mm na 100 mm	

Tablica 23. Prikaz rezolucija po tipovima libela

3. Nomenklatura i definicija

3.1. Za potrebe ovog britanskog standarda usvojene su nomenklature dane odlomcima 1 do 3.

3.2. Za potrebe ovog standarda primjenjuju se slijedeće definicije:

- *Rezolucija*. Onaj nagib kuta koji uzrokuje pomicanje mjehurića libele putem jedne podjele skale.
- *Raspon*. Ukupni nagib kuta pod kojim se može libela koristiti.
- *Greška zakretanja libele*. Promjena u očitavanju kada se mjerni instrument rotira oko osi staklene cijevi (ampule) s mjehurićem.
- *Ponovljivost*. Usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima.
- *Vrijeme umirivanja*. Vrijeme potrebno mjehuriću da se vrati u prvobitni nepomični položaj nakon što je libela bila pomaknuta.
- *Dozvoljeno odstupanje od ravnosti*. Maksimalni dozvoljeni prostor (udaljenost) između dviju imaginarnih paralelnih ravnina koje su udaljene za vrijednost naznačenog odstupanja.
- *Dozvoljeno odstupanje od okomitosti*. Maksimalna dopuštena udaljenost gdje je jedna ploha proglašena referentnom, a druga mora biti okomita na tu referentnu. Dozvoljeno odstupanje od okomitosti izraženo je preko ukupne duljine jedne od ploha.
- *Dozvoljeno odstupanje od paralelnosti*. Maksimalno dozvoljeno odstupanje ograničeno dvama paralelnim pravcima ili dvjema plohama na određenoj udaljenosti koji su paralelni s referentnim pravcima ili plohama.

4. Općenita obilježja konstrukcije

4.1. Kako bi se minimizirale razlike toplinske ekspanzije između staklene cijevi s mjehurićem (ampule) i njegova okvira, staklo mora imati koeficijent toplinske ekspanzije približan okviru. Kako bi se omogućile bilo kakve preostale razlike u ekspanziji, preferira se da se staklo cijevi s mjehurićem montira tako da je dozvoljen neznatan razmjerni uzdužni pomak.

4.2. Preporučljivo je da dimenzije staklene cijevi s mjehurićem budu takve da se s oba kraja mjehurića može očitavati preko skale u temperaturnom rasponu od 10° C do 40° C. Kako bi se to postiglo preporučljivo je da promjena u dužini mjehurića za temperaturnu izmjenu od 1°C između temperatura 10° C i 40° C ne bi smjela prelaziti 1 % njegove dužine pri 20° C.

4.3. Preporučuje se da staklena cijev s mjehurićem bude zaštićena trajnim transparentnim omotom.

4.4. Preporučljivo je da okviri (tijela) libela tip 1 i tip 2 imaju prikladno toplinski izolirano hvatište.

4.5. Sve površine libele, koje se ne koriste za mjerenje trebale bi biti obojene sa kvalitetnim emajlom ili ekvivalentnim zaštitnim slojem.

4.6. Generalno je preporučljivo da proizvođači osjetljivijih libela njihovu masu pokušaju održati konzistentnom sa stabilnošću kako bi se izbjegao nepravilan otklon od površine na koju se libela oslanja prilikom upotrebe.

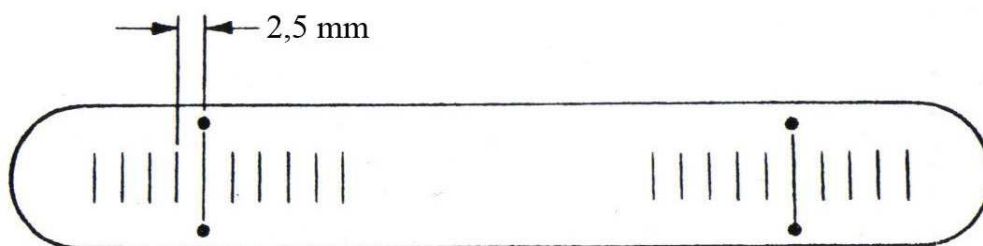
4.7. Preporučuje se da se za novoprojektirane libele usvoje sljedeće dimenzije:

Tablica 24. Preporuke dimenzija za novoprojektirane libele

Bazna dužina u mm	100	150	200	300	450
Približna širina i visina u mm	25	35	40	50	60

5. Preporuke za mjernu skalu i rezolucije

5.1. Preporučuje se da skala na svim libelama bude podijeljena na 2,5 mm razdiobu. Preporučeni princip podjele prikazan je slikom 61.



Slika 61. Prikaz podjele mjerne skale libele

5.2. Sve oznake podjele moraju biti pravocrtne sa oštrim rubovima, pod pravim kutovima po uzdužnoj osi libele i nepromijenjive debljine jednake $0,25 \text{ mm} \pm 20 \%$.

5.3. Libele trebaju sadržavati informaciju nazivne rezolucije.

6. Postavljanje

6.1. Postavljanje treba biti takvo da, kad je libela položena na horizontalnu površinu trebalo bi biti moguće namjestiti libelu tako da oba kraja mjehurića daju jednaka očitavanja na skali unutar jedne desetine razdiobe.

Pri standardnoj referentnoj temperaturi od 20°C duljina mjehurića bi trebala biti jednaka udaljenosti između središnje linije skale unutar jedne polovine razdiobe.

7. Završna obrada i točnost radnih površina

7.1. Tip 1 libele. Baza libele je kaljena i naknadno mehanički obrađena lepanjem tako da odstupanje od ravnoće ne prelazi 0,001 mm. Bilo kakvo odstupanje od ravnosti trebalo bi biti konkavne, a ne konveksne prirode.

7.2. Tip 2 libele. Bazu, uključujući i V-žlijeb pod 120° , ukoliko postoji, trebalo bi završno obraditi struganjem, brušenjem ili lepanjem. Nosive bazne površine te površine V-žlijeba trebale bi biti ravne i koplanarne unutar 0,003 mm za libele do 300 mm dužine i 0,004 mm za veće libele. Ukoliko postoji V-žlijeb on mora biti paralelan sa bazom unutar ekvivalneta od polovice skale razdiobe (0,0012 mm na 100 mm za 5 sekundi, 0,0025 mm na 100 mm za 10 sekundi i 0,005 mm na 100 mm za 20 sekundi).

7.3. Tip libele 3. Četiri površine četverokuta, uključujući i V-žlijeb ukoliko postoji, trebale bi biti završno obrađene struganjem, brušenjem ili lepanjem i svaka površina V-žlijeba trebala bi biti ravna i koplanarna unutar 0,003 mm.

Radne površine kvadrata (četverokuta) moraju biti međusobno paralelne i suprotne. Radne površine također moraju biti međusobno paralelne unutar ekvivalenta od polovice skale razdiobe.

8. Točnost izvedbe

8.1. Umjeravanje. Kada se libela ispituje na nagibnom stolu i očitavanja se uzmu na svakoj podjeli oba kraja mjehurića, prosječna rezolucija ne smije odstupati od nominalne (nazivne) rezolucije više od vrijednosti prikazane u tablici 25.

8.2. Ponovljivost. Identične postavke libele i nagibnog stola i odstupanje bilo kojeg očitavanja od prosjeka od šest očitavanja ne smije prelaziti toleranciju danu u stupcu 4 tablice 25.

8.3. Greška zakretanja libele, ne smije prelaziti toleranciju danu u stupcu 5 tablice 25.

Tablica 25. Točnost izvedbe

1	2	3	4	5	6
Rezolucija	Dozvoljeno odstupanje od prosjeka od nominalne osjetljivosti po razdiobi	Maksimalno odstupanje vrijednosti bilo koje skale razdiobe od prosječne vrijednosti	Ponovljivost	Dozvoljena greška zakretanja libele iznad $\pm 10^\circ$ od normalnog položaja	Vrijeme umirivanja
Na 100 mm	Sekundi	Razdioba	Sekundi	Sekundi	Vrijeme u sekundama
0,0025 (5 sekundi)	$\pm \frac{1}{2}$	2/10	$\pm \frac{1}{2}$	2	10
0,005 (10 sekundi)	$\pm \frac{1}{2}$	2/10	$\pm \frac{1}{2}$	2	10
0,010 (20 sekundi)	$\pm \frac{1}{2}$	2/10	$\pm \frac{1}{2}$	3	10

8.4. Vrijeme umirivanja. Nakon što je libela bila pomaknuta tako da se mjehurić pomakne približno za jednu skalu razdiobe, mjehurić bi trebao doći unutar jedne desetine skale razdiobe do mirnog područja u roku od 10 sekundi.

9. Zaštitna kutija

9.1. Svaka libela bi trebala biti isporučena u trajnoj i otpornoj zaštitnoj kutiji zajedno s ključem za podešavanje.

10. Zaštita od klimatskih uvjeta

10.1. Tijekom skladištenja i prijevoza sve radne površine libele moraju biti zaštićene od klimatskih uvjeta na taj način da su prekrivene sa prikladnim preparatom za zaštitu od korozije.

11. Obilježavanje i proizvodnja

11.1. Dodatno prema obilježavanju danom u odlomu 5.3, svaka libela mora biti čitljivo i tajno označena sa obilježjima kako slijedi:

- ime i zaštitni znak proizvođača;
- brojem ovog Britanskog standarda (BS 958: 1968);
- identifikacijskim brojem.

11.2. U slučaju libela sa kaljenom bazom, proizvođač treba dostaviti izjavu da je baza prikladno stabilizirana kako je preporučeno u poglavlju 7.1.

Prilog 2:

**Fotokopije standarada BS 958: 1968 na engleskom jeziku
te DIN 877, DIN 2276 Part 1 i DIN 2276 Part 2 na njemačkom jeziku**

SPECIFICATION FOR
SPIRIT LEVELS
FOR USE IN
PRECISION ENGINEERING

BS 958 : 1968

Price 6/- net

BRITISH STANDARDS INSTITUTION
INCORPORATED BY ROYAL CHARTER
BRITISH STANDARDS HOUSE, 2 PARK ST., LONDON, W.1
TELEGRAMS: STANDARDS LONDON W1 TELEPHONE: 01-629 9000

THIS BRITISH STANDARD, having been approved by the Mechanical Engineering Industry Standards Committee and endorsed by the Chairman of the Engineering Divisional Council, was published under the authority of the General Council on 22nd March, 1968.

SBN: 580 00094 X

First published, July, 1941.
First revision, March, 1968.

The Institution desires to call attention to the fact that this British Standard does not purport to include all the necessary provisions of a contract.

In order to keep abreast of progress in the industries concerned, British Standards are subject to periodical review. Suggestions for improvements will be recorded and in due course brought to the notice of the committees charged with the revision of the standards to which they refer.

A complete list of British Standards, numbering over 4000, fully indexed and with a note of the contents of each, will be found in the British Standards Yearbook, price 15s. The BS Yearbook may be consulted in many public libraries and similar institutions.

This standard makes reference to the following British Standards:

BS 1133. Packaging Code.

Section 6, Temporary Prevention of corrosion of metal surfaces (during transportation and storage).

Section 19, Use of desiccants in packaging.

BS 3509. Spirit level vials.

British Standards are revised, when necessary, by the issue either of amendment slips or of revised editions. It is important that users of British Standards should ascertain that they are in possession of the latest amendments or editions.

The following BSI references relate to the work on this standard:
Committee reference MEE/59 Draft for comment 66/22974

CONTENTS

	Page
Co-operating organizations	4
Foreword	5
SPECIFICATION	
1. Scope	5
2. Sensitivities	7
3. Nomenclature and definitions	7
4. General features of design	8
5. Recommended scale and indication of sensitivity	9
6. Adjustments	9
7. Finish and accuracy of working surfaces	9
8. Accuracy of performance	10
9. Case	11
10. Protection against climatic conditions	11
11. Marking and manufacture	11
APPENDICES	
A. Choice of sensitivity of a level	12
B. Testing of precision levels	12

BRITISH STANDARD SPECIFICATION FOR

SPIRIT LEVELS

FOR USE IN PRECISION ENGINEERING

FOREWORD

Since this standard was first published in 1941, spirit levels have become generally accepted as tools for use in precision engineering. Recognition of the fact that they provide a quick and accurate means of checking surfaces for flatness, alignment etc. is evidenced by their inclusion in the equipment specified in the British Standard and in the ISO Recommendation for methods of testing the accuracy of machine tools. They are also referred to in recommendations for the testing of other precision measuring equipment such as cast iron surface plates and tables and straightedges.

One of the main purposes of the present revision is to take account of the publication of BS 3509, 'Spirit level vials'. The requirements for accuracy of performance are based on that standard and relevant definitions are also included to help ensure that those requirements are correctly interpreted.

Other new features include reference to a smaller level than any included in the previous standard, recommendations for general dimensions and the use of millimetres only for all linear quantities.

SPECIFICATION

1. SCOPE

1.1 This British Standard specifies requirements for spirit levels for use in precision engineering. It provides for three types of levels as follows:

Type 1. A spirit level with an unrelieved flat base of steel hardened and lapped.

This type of level is usually made with base lengths from about 100 mm to 200 mm. The advantage of the lapped base is that the base length of the level can be varied at will by wringing two slip gauges on to the base at the desired distance apart.

Type 2. A spirit level, mounted in a body usually of cast iron or steel, having a base formed with flat bearing surfaces at the two ends, i.e. the middle portion is relieved.

The bearing surfaces may either be plain or contain a longitudinal 120° V-groove for use on cylindrical surfaces. In the latter case a short cross-level or small circular level is provided.

This type of level is usually made with base lengths from about 250 mm to 500 mm.

Type 3. A square block level, usually of cast iron, and about 200 mm square.

5

CO-OPERATING ORGANIZATIONS

The Mechanical Engineering Industry Standards Committee, under whose supervision this British Standard was prepared, consists of representatives from the following Government departments and scientific and industrial organizations:

Associated Offices' Technical Committee

Association of Consulting Engineers

Association of Mining Electrical and Mechanical Engineers

Board of Trade

British Chemical Plant Manufacturers' Association

British Compressed Air Society

British Electrical and Allied Manufacturers' Association

British Gear Manufacturers' Association

British Internal Combustion Engine Manufacturers' Association

British Iron and Steel Federation

British Mechanical Engineering Federation

British Pump Manufacturers Association

Crown Agents for Oversea Governments and

Administrations

Electricity Council, the Central Electricity Generating Board

and the Area Boards in England and Wales

Engineering Equipment Users' Association

Gas Council

Institute of Marine Engineers

Institution of Civil Engineers

Institution of Gas Engineers

Institution of Heating and Ventilating Engineers

Institution of Mechanical Engineers

Institution of Mechanical Engineers (Automobile Division)

Institution of Production Engineers

Locomotive and Allied Manufacturers' Association of

Great Britain

London Transport Board

Machine Tool Trades Association

Ministry of Defence

Ministry of Defence, Army Department

Ministry of Labour (H.M. Factory Inspectorate)

Ministry of Power

Ministry of Public Building and Works

Ministry of Technology—National Engineering Laboratory

Ministry of Transport

National Coal Board

National Physical Laboratory (Ministry of Technology)

Radio Industry Council

Royal Institute of British Architects

4

The four bearing surfaces are flat and may have the middle portions relieved; alternatively, the base and one adjacent surface may each contain a longitudinal 120° V-groove for use on cylindrical surfaces.

In the latter case a short cross-level is provided.

1.2 Whilst this standard deals specifically with spirit levels, it is recognized that levels operating on other principles perform a similar function and it is recommended that such instruments should conform to the same general requirements for accuracy and performance where applicable.

2. SENSITIVITIES

The sensitivities (see 3.2.1) recommended for general precision engineering purposes are as follows:

Type of level	Recommended sensitivity (Value of 1 scale division)
Type 1	0.0025 mm in 100 mm i.e. approximately 5 seconds of arc* or 0.005 mm in 100 mm i.e. approximately 10 seconds of arc*
Types 2 and 3	0.005 mm in 100 mm i.e. approximately 10 seconds of arc* or 0.010 mm in 100 mm i.e. approximately 20 seconds of arc*

*5 seconds of arc = 0.002425 mm per 100 mm

3. NOMENCLATURE AND DEFINITIONS

3.1 For the purposes of this British Standard, the nomenclature given in Figs. 1 to 3 has been adopted.

3.2 For the purposes of this British Standard, the following definitions apply:

- (1) *Sensitivity*. That angle of tilt which causes the bubble in the vial to move through one scale division.
- (2) *Range*. The total angle of tilt through which a vial can be used.
- (3) *Roll error*. The change in reading when the instrument is rotated about the axis of the vial.
- (4) *Repeatability*. The measure of the ability of the level to repeat its readings under all ordinary methods of operation.
- (5) *Settling time*. The time taken for a bubble to return to its steady position after the level has been disturbed.
- (6) *Flatness tolerance*. The maximum permissible distance between two



Fig. 1. Type 1 level

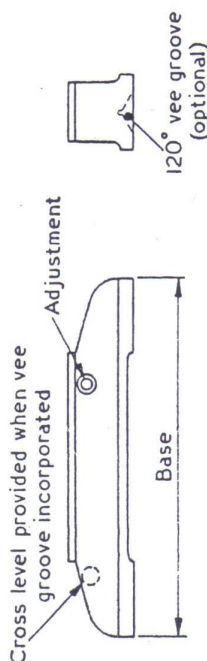


Fig. 2. Type 2 level

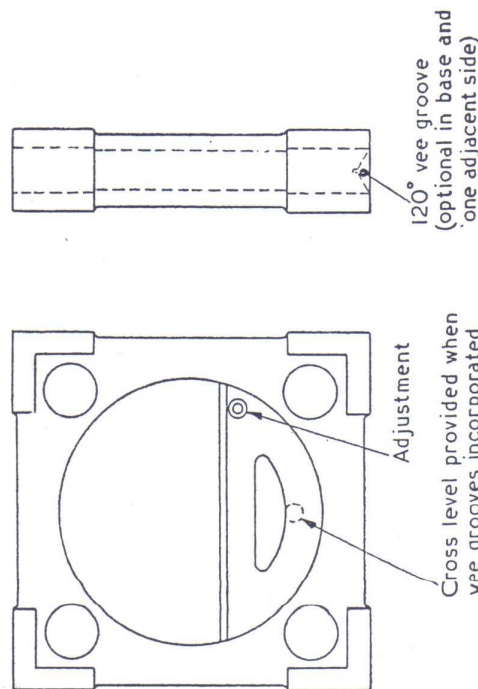


Fig. 3. Type 3 level

imaginary parallel planes within which the surface under consideration can just be enclosed.

(7) *Squareness tolerance.* The maximum permissible distance separating two imaginary parallel planes which just enclose one of the surfaces under consideration and which are perpendicular to the other surface. Squareness tolerance is expressed over the total length of one of the surfaces.

(8) *Parallelism tolerance.* The maximum permissible variation in distance between the surfaces under consideration.

4. GENERAL FEATURES OF DESIGN

4.1 To minimize the differences in thermal expansion between the glass vial and its mount, the glass should have a co-efficient of thermal expansion approximating to that of the mount. To allow for any residual difference in expansion, the glass vial should preferably be mounted so as to permit slight relative longitudinal movement.

4.2 It is recommended that the dimensions of the glass vial should be such that both ends of the bubble can always be read against the scale over a temperature range of from 10°C to 40°C. To achieve this, it is recommended that the alteration in the length of the bubble for a temperature change of 1°C between 10°C and 40°C should not exceed 1% of its length at 20°C.

4.3 It is recommended that the glass vials of levels be protected by a permanent transparent cover.

4.4 It is recommended that the bodies of Types 1 and 2 levels should be provided with a convenient heat insulating finger hold.

4.5 All unmachined surfaces on the level should be painted with a high-grade enamel or should have an equivalent protective finish.

4.6 It is recommended as general guidance to manufacturers that the weight of the more sensitive levels should be kept to the minimum consistent with stability to avoid undue deflection of the surfaces on which the level is supported when in use.

4.7 Whilst no general dimensions are specified, it is recommended that the following be adopted for new designs:

Base length	100	150	200	300	450	mm
Approximate width and height	25	35	40	50	60	mm

5. RECOMMENDED SCALE AND INDICATION OF SENSITIVITY

5.1 It is recommended that scales on all levels be divided into 2.5 mm divisions, the style of graduation recommended being that shown in fig. 4.

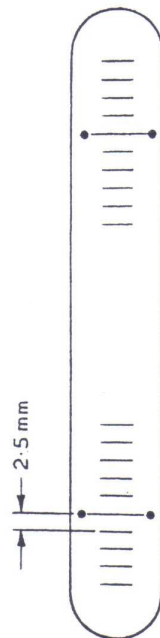


Fig. 4. Scale divisions

5.2 All graduation marks shall be straight with sharp edges, at right angles to the longitudinal axis of the vial and of a uniform thickness equal to 0.25 mm \pm 20%.

5.3 Levels shall be permanently marked with the nominal sensitivity. It is usual to append the scale interval itself to this figure, viz. 20 seconds of arc/2.5 mm, 10 seconds of arc/2.5 mm, etc. (or 20 seconds/2.5 mm, 10 seconds/2.5 mm. etc.).

Alternatively, this angle may be expressed as the equivalent length of arc at the end of a 250 mm radius or base length. The connection between these two methods of expressing sensitivity is:

$$1 \text{ second of arc} = 0.0012 \text{ mm in } 250 \text{ mm.}$$

6. ADJUSTMENTS

Each level shall incorporate a means of setting the vial level. This adjustment should be such that, when the level is placed on a horizontal surface, it should be possible to adjust the vial so that the two ends of the bubble give equal readings on the scale to within one-tenth of a division.

The adjustment should be provided with an efficient locking device and, as far as possible, should be proof against tampering.

At the standard reference temperature of 20°C the length of the bubble should be equal to the distance between the centre lines of the scales to within one-half of a division.

7. FINISH AND ACCURACY OF WORKING SURFACES

7.1 *Type 1 levels.* The hardened base shall be lapped to provide a wringing surface and shall be flat overall to within 0.001 mm. Any departure from flatness shall be in the nature of a concavity and not a convexity.

In order to maintain this degree of flatness, the body of this type of level shall be stabilized.

NOTE. A suitable stabilizing process is as follows:

The hardened body of the level, before final grinding, is heated and maintained at a temperature of 150°C for a period of 5–10 h and allowed to cool slowly in the furnace.

7.2 Type 2 levels. The base, including the 120° V-groove where provided, shall be finished by scraping, grinding or lapping. The bearing surfaces of the base and the sides of the V-groove shall be flat and co-planar to within 0.003 mm for levels up to 300 mm long and 0.004 mm for larger levels. The V-groove when provided shall be parallel to the base to within the equivalent of half of a scale division. (0.0012 mm per 100 mm for 5 second levels, 0.0025 mm per 100 mm for 10 second levels and 0.005 mm per 100 mm for 20 second levels).

7.3 Type 3 levels. The four surfaces of the square, including the V-groove when provided, shall be finished by scraping, grinding or lapping and each surface and each side of the V-grooves shall be flat and co-planar to within 0.003 mm.

Adjacent working surfaces of the square shall be square to each other and opposite working surfaces shall be parallel to each other to within the equivalent of half of a scale division. Each V-groove shall be parallel to its own flat (upper) surface to within the same amount.

8. ACCURACY OF PERFORMANCE

8.1 Calibration. When the level is tested on a tilting-table and readings are taken at each division at both ends of the bubble, the average sensitivity shall not depart from the nominal sensitivity by more than the amount shown in column 2 of Table 1. In addition, the maximum deviation of the value of any one division from the average value shall not exceed the amount shown in column 3 of Table 1.

8.2 Repeatability. Identical settings of the level tilt shall be made and the departure of any one reading from the mean of six readings shall not exceed the tolerance given in column 4 of Table 1.

8.3 Roll error. Roll error shall not exceed the tolerance given in column 5 of Table 1.

TABLE 1. ACCURACY OF PERFORMANCE

1	2	3	4	5	6
Sensitivity per division	Permissible departure of average from nominal sensitivity per division	Maximum deviation of the value of any one scale division from average value	Repeatability	Permissible roll error over $\pm 10^\circ$ from normal position	Settling time
per 100 mm	Seconds of arc	Division	Seconds of arc	Seconds of arc	Seconds of time
0.0025 (5 seconds)	$\pm \frac{1}{2}$	2/10	$\pm \frac{1}{2}$	2	10
0.005 (10 seconds)	± 1	2/10	± 1	2	
0.010 (20 seconds)	± 2	2/10	± 2	3	

10

8.4 Settling time. After the level has been disturbed to make the bubble move approximately one scale division, it shall come to within one-tenth of a scale division of its steady position within 10 seconds.

9. CASE

Each level shall be supplied in a durable protective case or box and a key for adjusting the level shall be provided.

10. PROTECTION AGAINST CLIMATIC CONDITIONS

During storage and transit, all working surfaces of the levels shall be protected against climatic conditions by being covered with a suitable corrosion preventative*.

11. MARKING AND MANUFACTURE

11.1 In addition to the marking referred to in 5.3, each level shall be legibly and permanently marked with the particulars given below:

- (1) The manufacturer's name and trade mark.
- (2) The number of this British Standard, i.e. BS 958.
- (3) An identification number.

11.2 In the case of levels with hardened bases, the manufacturer shall supply a statement that the base has been suitably stabilized as recommended in 7.1.

NOTE. The mark BS 958 on or in relation to the product is a claim by the manufacturer that it complies with the requirements of the standard.

The British Standards Institution is the owner of a registered certification trade mark. This is shown below, enclosed in the words 'Approved to British Standard'. This mark can be used only by manufacturers licensed under the certification mark scheme operated by the BSI. The presence of this mark on or in relation to a product is an assurance that the goods have been produced to comply with the requirements of the British Standard under a system of supervision, control and testing operated during manufacture and including periodical inspection at the manufacturer's works in accordance with the certification mark scheme of the BSI.

Further particulars of the terms of licence may be obtained from the Director, British Standards Institution, 2 Park Street, London, W.1.



*Temporary (easily removable) corrosion preventatives are dealt with fully in BS 1133, 'Packaging Code', Section 6, 'Temporary prevention of corrosion of metal surfaces'. Guidance on sealed packs with desiccants is given in Section 19, 'Use of desiccants in packaging'.

APPENDIX A

CHOICE OF SENSITIVITY OF A LEVEL

A.1 General. The use of unnecessarily sensitive levels is likely to introduce difficulties because ambient temperature changes and any lack of rigidity will have more noticeable effect on the readings of the instrument.

A.2 Calibration. Levels are usually calibrated on a tilting-table fitted with a pair of ball-ended feet at one end and a vertical micrometer head at the other. The tilting-table should be of substantial construction and should rest on a surface plate on a rigid foundation.

The micrometer head should be provided with a drum reading directly to 0.002 mm. It should have a ball-ended contact face.

For calibrating 5 second levels the base length of the tilting-table, i.e. the normal distance between the axis of the micrometer and the centre line passing through the two feet at the other end, should not be less than 750 mm.

A.3 Vial setting. Place the level on a rigid flat surface, which itself is approximately level, preferably a Grade A surface table, rotate it until the bubble is approximately central and note the reading. Place a straightedge on the surface against the side of the level to provide a datum. Reverse the level and note the reading. Adjust the bubble with the key provided to the mean position of the two readings. Repeat this procedure until the bubble gives identical readings on reversal.

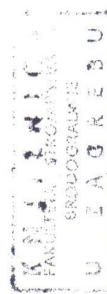
A.4 Use of spirit level vials. The application of levels to workshop practice can often be facilitated by the use of spirit level vials without fixed bases. These vials, available with or without mounting tubes, may be quickly fixed in position and adjusted to zero for temporary use by means of a suitable material. Details of standard sizes and sensitivities of such vials are given in BS 3509*.

APPENDIX B

TESTING OF PRECISION LEVELS

The National Physical Laboratory is prepared to accept precision levels for examination for conformity with this British Standard. Full particulars of the tests and fees charged may be obtained on application to the Director, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex.

*BS 3509, 'Spirit level vials'.



Zu Abschnitt 3.10

Auch die früher festgelegten Verrippungsformen wurden nicht angewendet, und deshalb werden hier keine Angaben dazu gemacht. Es sollte genügen, daß der Hersteller durch seine Erfahrung mit den eigenen Verrippungsformen eine genügende Stabilität und Steifigkeit sicherstellt.

Zu Abschnitt 4.3

Meßpunkttraster zur Ebenheitsprüfung, die sich über die Seitenlinien und die Diagonale „schließen“ lassen, werden mit Hilfe von pythagoreischen (Dreiecke-)Zahlenkombinationen gebildet. Einige solcher Verhältnisse werden im folgenden gegeben.

Tabelle 9.

$m : n : o$	α
20 : 21 : 29	43,603°
3 : 4 : 5	36,870°
8 : 15 : 17	28,072°
5 : 12 : 13	22,620°
12 : 35 : 37	18,925°
7 : 24 : 25	16,260°
9 : 40 : 41	12,680°

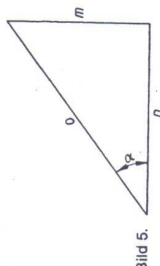


Bild 5.

Zu Abschnitt 5

Damit nach dem Erscheinen der Internationalen Normen über Prüfplatten, die für die Genauigkeitsgrade auch arabische Zeichen verwenden, bei einer Prüfplatte keine Zweifel über deren Zuordnung zu einer Norm auftreten, wurde beschlossen, die Kennzeichnung von Prüfplatten nach dieser Norm die DIN-Hauptnummer DIN 876 mit umfassen muß. Diesem Vorschlag die Kennzeichnung ist man auch für die geplanten internationalen Normen über Prüfplatten gefolgt.

Internationale Patentklassifikation

B 25 H 7 - 02

Neigungsmeßgeräte (Richtwaagen)

DIN 877

Inclination measuring instruments (levels)

Ersatz für Ausgabe 05.59

1 Anwendungsbereich und Zweck

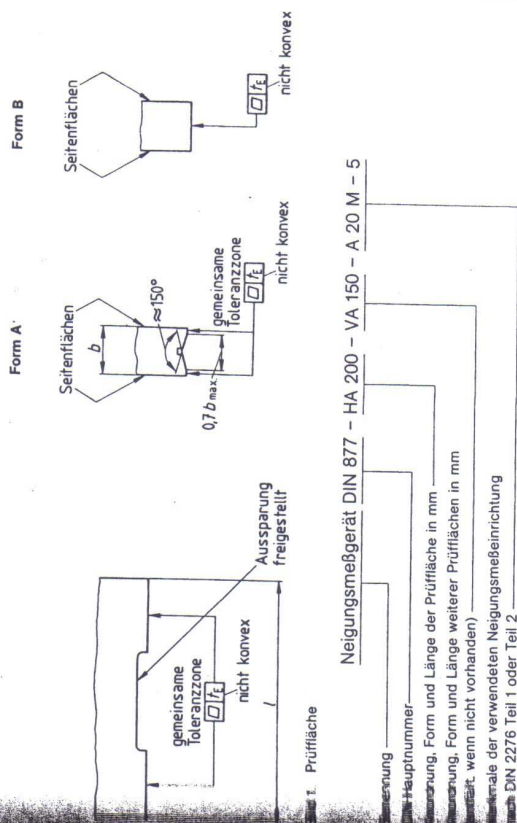
Diese Norm gilt für schwerkraftbezogene Neigungsmeßgeräte mit Röhrenblenden nach DIN 2276 Teil 1 oder mit elektronischen Neigungsmeßeinrichtungen nach DIN 2276 Teil 2.

2 Begriffe

Grundbegriffe der Meßtechnik und Begriffe der Längenprüftechnik siehe DIN 1319 Teil 1, DIN 1319 Teil 2, DIN 1319 Teil 3 und DIN 2257 Teil 1.

Schwerkraftbezogene Neigungsmeßgeräte haben eine oder mehrere Prüfflächen, mit denen das Gerät auf den Prüfgegenstand auf- oder an den Prüfgegenstand angelegt wird. Die Neigung der zu prüfenden Fläche des Prüfgegenstandes in bezug auf die Richtung der Schwerkraft wird mit Hilfe einer Röhrenblende oder einer elektronischen Neigungsmeßeinrichtung angezeigt. Zum Ausrichten in Querrichtung kann eine zusätzliche Quer-Neigungsmeßeinrichtung vorhanden sein. Die Haupt-Neigungsmeßeinrichtung kann zur Erweiterung des Meßbereiches mittels Teilkreis oder Meßschraube schwenkbar sein. Die Prüfflächen können bezogen auf die Haupt-Neigungsmeßeinrichtung horizontal (H) oder vertikal (V) oder als Rahmen oder Winkel kombiniert angeordnet sein. Neigungsmeßgeräte werden auch Richtwaagen oder Wasserwaagen genannt.

3 Maße, Bezeichnung



Fortsetzung Seite 2 und 3

Normenausschuß Länge und Gestalt (NLG) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

4 Anforderungen

Tabelle 1. Ebenheitstoleranzen der Prüfflächen

Skalenteilungswert µm/m	Ebenheitstoleranz t_E µm		Parallelitätstoleranz der oberen Prüffläche zur unteren Prüffläche µm
µm/m	µm	µm	
bis 50	bis 10	$4 + \frac{250}{l}$	$4 + \frac{125}{l}$
über 50 bis 200	über 10 bis 40	$8 + \frac{125}{l}$	$8 + \frac{60}{l}$
über 200	über 40	$16 + \frac{60}{l}$	$16 + \frac{30}{l}$

 l ist der Zahlenwert der Länge in mm

Tabelle 2. Fehlergrenzen für den Nullpunkt bei Röhrenbildern nach DIN 2276 Teil 1

Anordnung der Prüffläche	Skalenteilungswert bis 50 µm/m oder 10°	Skalenteilungswert über 50 µm/m oder 10°	
		$l \leq 100$ mm	$l > 100$ mm
horizontal	10 µm/m	0,4 Skalenteil	0,2 Skalenteil
vertikal	20 µm/m	1 Skalenteil	0,5 Skalenteil

Tabelle 3. Fehlergrenzen für den Nullpunkt bei elektronischen Neigungsmeßeinrichtungen nach DIN 2276 Teil 2

Anordnung der Prüffläche	Skalenteilungswert bis 50 µm/m oder 10°	Skalenteilungswert über 50 µm/m oder 10°	
		$l \leq 100$ mm	$l > 100$ mm
horizontal	5 µm/m	0,4 Skalenteil	0,2 Skalenteil
vertikal	10 µm/m	1 Skalenteil	0,5 Skalenteil

4.1 Form- und Lagetoleranzen

4.1.1 Prüfflächen

Für die in Bild 1 eingetragene Ebenheitstoleranz t_E sowie die Parallelitätstoleranz der zweiten (oberen) horizontalen Prüffläche, sofern vorhanden, zur unteren horizontalen Prüffläche gelten die Werte der Tabelle 1.

4.1.2 Seitenflächen

Für die Ebenheitstoleranz der Seitenflächen gilt

$$t = 100 + \frac{l}{10}$$

und für die Rechtwinkligkeitstoleranz der Seitenflächen zu den Prüfflächen gilt

$$l = 100 + \frac{b}{2}$$

Hierin bedeuten:

l der entsprechende Toleranzwert in µm
 l der Zahlenwert der Länge in mm und
 b der Zahlenwert der Breite in mm
Die Seitenflächen dürfen lackiert sein.

4.2 Quer-Neigungsmeßeinrichtung

Bei Neigungsmeßgeräten mit Prüfflächen der Form A und B, die sich zusammensetzen aus dem betreffenden Wert bis 300 µm/m bzw. 60° muß eine Quer-Neigungsmeßeinrichtung vorhanden sein.

4.5 Abweichung der Anzeige

Für Meßwerte verschieden von Null ergibt sich eine Fehlergrenze, die sich zusammensetzt aus dem betreffenden Wert der Tabellen 2 bzw. 3 und der Fehlergrenze für die Neigungsmeßeinrichtung nach DIN 2276 Teil 1 bzw. Teil 2.

4.6 Arbeitstemperaturbereich

Die im Abschnitt 4.3 festgelegten Anforderungen müssen in einem Bereich von $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ eingehalten sein.

4.7 Wärmeschutz

Das Neigungsmeßgerät und eine darin eingebaute Neigungsmeßeinrichtung mit einem Skalenteilungswert bis 100 µm/m oder 20° sind gegen nachteilige Wirkung kurzfristiger Temperaturänderungen zu schützen.

5 Prüfung

Die Prüfungen sind in Gebrauchslage bzw. bei auf Null eingestellter Quer-Neigungsmeßeinrichtung durchzuführen. Es werden sowohl die ebenen als auch die prismatischen Prüfflächen geprüft.

5.1 Nullage der horizontalen Prüfflächen

Die Prüfung geschieht „auf Umschlag“ um die durch die Mitte des Neigungsmeßgerätes gehende vertikale Achse. Das Prüfergebnis ist der arithmetische Mittelwert der beiden Anzeigen unter Berücksichtigung ihrer durch das Neigungsmeßgerät definierten Vorzeichen bzw. Richtungen.

Für ebene Prüfflächen ist als Bezugsunterlage, die möglichst wenig von der Horizontalen abweichen soll, für Skalenteilungswerte bis 100 µm/m oder 20° eine Prüflatte des Genauigkeitsgrades 00 nach DIN 876 Teil 1 oder Teil 2 und für Skalenteilungswerte über 100 µm/m oder 20° eine Prüflatte des Genauigkeitsgrades 0 nach DIN 876 Teil 1 oder Teil 2 zu verwenden.

Für prismatische Prüfflächen ist ein Prüfcylinder zu verwenden, der vom Durchmesser her so bemessen ist, daß er die Prüfflächen an beliebiger Stelle mit Ausnahme der Kanten berührt, länger ist als das Neigungsmeßgerät und die folgenden Anforderungen nach DIN 2272 Teil 1 erfüllt:

Zitierte Normen

- DIN 876 Teil 1 Prüflatten; Prüflatten aus Naturartgestein, Anforderungen, Prüfung
DIN 876 Teil 2 Prüflatten; Prüflatten aus Gußeisen, Anforderungen, Prüfung
DIN 1319 Teil 1 Grundbegriffe der Meßtechnik; Allgemeine Grundbegriffe
DIN 1319 Teil 2 Grundbegriffe der Meßtechnik; Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten
DIN 1319 Teil 3 Grundbegriffe der Meßtechnik; Begriffe für die Beurteilung von Meßgeräten und Meßeinrichtungen
DIN 2257 Teil 1 Begriffe der Längenprüftechnik; Einheiten, Tätigkeiten, Prüfmittel, Meßtechnische Begriffe
DIN 2258 Graphische Symbole in der Längenprüftechnik
DIN 2272 Teil 1 Anforderungen an Prüfmittel der Längenprüftechnik; Hilfsmittel
DIN 2273 Sinuslineale
DIN 2276 Teil 1 Neigungsmeßeinrichtungen; Röhrenbildern, Maße, Anforderungen
DIN 2276 Teil 2 Neigungsmeßeinrichtungen; Elektronische Neigungsmeßeinrichtungen, Formen, Anforderungen

Frühere Ausgaben

DIN 877: 10/32, 05/59

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe Mai 1959 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Einteilung in Klassen entfiel.
- Anforderungen nur noch für die Nullage festgelegt.
- Aufnahme einer Kennzeichnung.
- Aufnahme einer Kennzeichnung.
- Redaktionelle Überarbeitung.

Internationale Patentklassifikation

G 01 C 9/00 G 01 C 9/00

Erläuterungen

Bei der Einarbeitung dieser Norm wurde auf eine Unterscheidung zwischen Prismen für Prüfzwecke und Prismen für Spannzwecke Wert gelegt. Gegenstand dieser Norm sind nur Prüfprismen, die höheren Genauigkeitsanforderungen genügen müssen als Spannprismen. Es wurden keine Prismen aufgenommen, bei denen die Einhaltung der geforderten Toleranzen durch die Belastung und die Formstabilität nicht mehr sichergestellt ist, wie z. B. bei Kreuzprismen und Prismen mit Spannbügel.

Neben dem bisher fast ausschließlich verwendeten Einschnittwinkel von 90° sind auch 108° vorgesehen, und zwar, weil $\alpha = 108^\circ$ für die Anwendung geometrisch vorteilhaft ist. Bei Rundheitsprüfungen können mit $\alpha = 108^\circ$ fast alle als Polygon auftretenden Formabweichungen und unter ihnen alle praktisch auftretenden Gleichdickformen (Ausnahme: neuseitiges Gleichdick) erkannt werden. Dem Einschnittwinkel $\alpha = 108^\circ$ kommt damit eine besondere Bedeutung für das Prüfen spitzennullos geschliffener Teile zu.

Die Festlegung der Bereiche für Wellendurchmesser und der Baumaße erfolgte unter der Voraussetzung, daß eine einwandfreie tangentielle Anlage der Wellen im Prisma unter Berücksichtigung eines möglichen Randabfalls sichergestellt ist. Der Randabfallbereich und die Nutmaße wurden besonders beim Genauigkeitsgrad 0 im Hinblick auf möglichst große Wellendurchmesserbereiche festgelegt.

Für das Prüfen von Prismen sind so viele Prinzipien und Verfahren möglich, daß die Festlegung nur eines Verfahrens jeweils nicht sinnvoll und eine Vollständigkeit unmöglich ist. Deshalb beschränkt sich der Abschnitt 5 „Prüfung“ auf allgemeine Festlegungen und ein Beispiel. Zu diesem Beispiel (Bild 5) sei ausdrücklich gesagt, daß es nicht das einzig festgelegte Verfahren zur Prüfung des entsprechenden Merkmals ist. In das Meßergebnis gehen mehrere Komponenten mit ein, jedoch kann für die Auswertung gesagt werden, daß die entsprechende Toleranz auf keinen Fall überschritten wird, wenn nach diesem Beispiel eine Abweichung ermittelt wird, die kleiner oder gleich der entsprechenden Toleranz ist.

Es wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß im Normenausschuß Länge und Gestalt (NLG) zur Zeit an einem grundlegenden Dokument des ISO/TC 10/SC 5 über Prüfprinzipien und -verfahren für Form- und Lageabweichungen gearbeitet wird. Es ist beabsichtigt, dieses im Deutschen als Normentwurf zu veröffentlichen.

Neigungsmeßeinrichtungen Röhrenlibellen. Maße Anforderungen	DIN 2276 Teil 1	Ersatz für DIN 2276/09.59
--	-------------------------------------	---------------------------

Inclination measuring devices; spirit level vials, dimensions, requirements

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm gilt für Röhrenlibellen mit Skalenteilungswerten von 0,01 bis 5 mm/m und für Röhrenlibellen mit Skalenteilungswerten von 2 bis 20°.

2 Begriffe

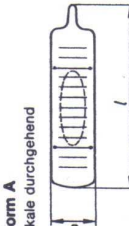
Grundbegriffe der Meßtechnik und Begriffe der Längenprüftechnik siehe DIN 1319 Teil 1, DIN 1319 Teil 2, DIN 1319 Teil 3 und DIN 2257 Teil 1.

2.1 Röhrenlibelle

Eine Röhrenlibelle ist eine mit Flüssigkeit arbeitende Meßeinrichtung, die unter Ausnutzung der Schwerkraft Neigungen gegenüber der Horizontalen anzeigt. Sie werden als Meßelemente z. B. in Neigungsmeßgeräte, Waagen oder Fertigungseinrichtungen eingebaut.


3 Maße, Bezeichnung

Form A




Skala durchgehend

Form B



Skala nicht durchgehend,
mindestens je 4 Teilstriche
symmetrisch zu den
Nullstrichen

Form C



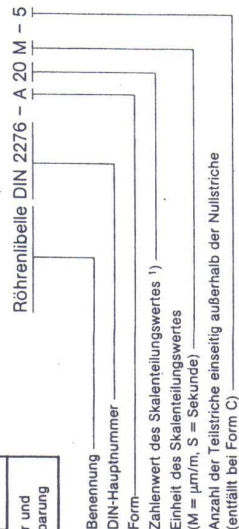
nur 2 Nullstriche
vorhanden

Bild 2. Röhrenlibellenformen

$d \pm 0,2$	6	12
l	25	80

Andere Durchmesser und Längen nach Vereinbarung

Röhrenlibelle DIN 2276 – A 20 M – 5



1) Bei Form C ist anstelle des Skalenteilungswertes die maximale Neigung anzugeben, bei der die Blase bei 20 °C noch innerhalb der Nullstriche steht.

Fortsetzung Seite 2

Neigungsmeßeinrichtungen Elektronische Neigungsmeßeinrichtungen Formen Anforderungen	<div data-bbox="159 246 239 324">DIN 2276 Teil 2</div> <div data-bbox="255 403 287 1041">Inclination measuring devices; electronic inclination measuring devices, types, requirements</div> <div data-bbox="311 728 343 1041">1 Anwendungsbereich und Zweck Diese Norm gilt für elektronische Neigungsmeßeinrichtungen.</div> <div data-bbox="383 929 406 1041">2 Begriffe Grundbegriffe der Meßtechnik und Begriffe der Längenprüftechnik siehe DIN 1319 Teil 1, DIN 1319 Teil 2, DIN 1319 Teil 3 und DIN 2257 Teil 1.</div> <div data-bbox="454 694 486 1041">2.1 Elektronische Neigungsmeßeinrichtung Eine elektronische Neigungsmeßeinrichtung ist eine Meßeinrichtung, die unter Ausnutzung der Schwerkraft Neigungen gegenüber der Horizontalen anzeigt und bei denen die Meßgröße in ein elektrisches Signal umgeformt wird. Elektronische Neigungsmeßeinrichtungen werden als Meßelemente in Neigungsmeßgeräte, Waagen oder Fertigungseinrichtungen eingebaut.</div> <div data-bbox="574 817 606 1041">3 Formen, Bezeichnung Form D Aufnahme und Anzeigeeinrichtung zusammen in einer Baueinheit Form E Aufnahme und Anzeigeeinrichtung räumlich getrennt</div> <div data-bbox="654 425 901 1041"> <div data-bbox="662 425 694 1041">Benennung DIN-Hauptnummer</div> <div data-bbox="702 907 726 1041">Form</div> <div data-bbox="734 929 758 1041">Art der Anzeige (S = Skalenanzeige, Z = Ziffernanzeige)</div> <div data-bbox="766 716 790 1041">Zahlenwert des kleinsten Skalenteilungswertes bzw. Ziffernschrittwertes</div> <div data-bbox="798 638 821 1041">Einheit des Skalenteilungswertes bzw. Ziffernschrittwertes (M = µm/m, S = Sekunde, MU = µm/m und Sekunde, umschaltbar)</div> <div data-bbox="829 862 853 1041">halbe Meßspanne in Grad</div> </div> <div data-bbox="925 873 957 1041">4 Anforderungen 4.1 Anzeige Die Anzeige erfolgt durch ein elektrisches Meßgerät, für das die Angaben nach DIN 32 876 Teil 1 zu machen sind. An der Neigungsmeßeinrichtung muß der eingestellte Meßbereich, der zugehörige Skalenteilungswert bzw. Ziffernschritt mit der Einheit eindeutig erkennbar sein. 4.1.1 Vorzeichen der Anzeige Die Neigungsmeßeinrichtung bzw. der Aufnehmer bei Form E muß an einer Seite eine Markierung besitzen, so daß positives Vorzeichen der Anzeige bei nicht invertiertem Signal bedeutet, daß die Auflagenfläche der Neigungsmeßeinrichtung bzw. des Aufnehmers von der nicht markierten zur markierten Seite hin ansteigt. 4.2 Fehlergrenzen Im Bereich der Meßwerte, deren absoluter Betrag kleiner oder gleich dem halben Meßbereichswert ist, gilt eine Fehlergrenze von 1% des Betrages des jeweiligen Meßwertes, mindestens jedoch 0,05% des Meßbereichswertes. Im Bereich der Meßwerte, deren absoluter Betrag größer als der halbe Meßbereichswert ist, gilt eine Fehlergrenze von $f_{max} = 0,01 (2 M_w - 0,5 M_p)$ M_w - Meßwert M_p - Meßbereichswert Die nach den Formeln errechneten Werte sind bei Ziffernanzeige auf ganze Ziffernschritte aufzurunden. 4.3 Einstelldauer Die Einstelldauer darf 5 s nicht überschreiten. 4.4 Drift Die Anzeige bei ein- und demselben Wert der Meßgröße darf sich bei unveränderten Umgebungsbedingungen um nicht mehr als 0,05% des Meßbereichswertes je Stunde ändern. Der errechnete Wert ist bei Ziffernanzeige auf ganze Ziffernschritte aufzurunden.</div>
--	--

Normenausschuß Länge und Gestalt (NLG) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Fortsetzung Seite 2

4 Meßtechnische Anforderungen

4.1 Skale

Die Skale muß in bezug auf die Nulllage symmetrisch gestaltet sein. Skalen der Formen A und B müssen gleichmäßig geteilt sein, der Teilstrichabstand soll 2 mm betragen. Der Abstand der Nullstriche voneinander muß mindestens gleich der Blasenlänge und darf höchstens 2 mm größer als die Blasenlänge sein.

Die Teilstriche müssen senkrecht zur Längsachse stehen, sie müssen in sich und untereinander gleich breit und gleich lang sein. Die Breite darf 20% des Teilstrichabstandes nicht überschreiten. Die Nullstriche sind in größerer Länge als die übrigen auszuführen. Die Teilstriche müssen randscharf und dauerhaft und deckend aufgebracht sein.

4.2 Fehlergrenzen

Für Skalenteilungswerte bis 25 µm/m oder 5" gilt eine Fehlergrenze von 5 µm/m.

Für Skalenteilungswerte über 25 µm/m oder 5" gilt eine Fehlergrenze von 20% des betreffenden Skalenteilungswertes.

4.3 Einstelldauer

Die Einstelldauer darf den nach folgender Gleichung errechneten Wert E_t nicht überschreiten.

$$E_t = \frac{400}{\text{Skalenteilungswert}} + 8$$

E_t in s
Skalenteilungswerte in µm/m

Zitierte Normen

- DIN 1319 Teil 1 Grundbegriffe der Meßtechnik; Allgemeine Grundbegriffe
- DIN 1319 Teil 2 Grundbegriffe der Meßtechnik; Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten
- DIN 1319 Teil 3 Grundbegriffe der Meßtechnik; Begriffe für die Beurteilung von Meßgeräten und Meßeinrichtungen
- DIN 2257 Teil 1 Begriffe der Längenprüftechnik; Einheiten, Tätigkeiten, Prüfmittel, Meßtechnische Begriffe
- DIN 12 111 Prüfung von Glas; Gießverfahren zur Prüfung der Wasserbeständigkeit von Glas als Werkstoff bei 98 °C und Einteilung der Gläser in hydrolytische Klassen

Frühere Ausgaben

DIN 2276: 09.59

Änderungen

Gegenüber DIN 2276/09.59 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich in bezug auf die Skalenteilungswerte nach unten erweitert und nach oben begrenzt.
- b) Für Form B Symmetrie zu jedem der beiden Nullstriche gefordert.
- c) Höchstwert der Einstelldauer festgelegt.
- d) Normbezeichnung aufgenommen.
- e) Kennzeichnung aufgenommen.
- f) Redaktionelle Überarbeitung.

Internationale Patunklassifikation

G 01 C 9/24
G 01 C 9/34

1) Siehe Seite 1

4.4 Arbeitstemperaturbereich

Die in den Abschnitten 4.1 bis 4.3 festgelegten Anforderungen müssen in einem Bereich von (20 ± 5) °C eingehalten sein.

4.5 Lagertemperaturbereich

Die Röhrenbellenden dürfen durch Temperatureinflüsse im Bereich von -40 bis +70 °C nicht zerstört werden.

5 Werkstoff

5.1 Libellenkörper

Der Libellenkörper muß aus durchsichtigem Werkstoff bestehen und frei von Spannungen, funktionsstörenden Schlieren, Blasen und sonstigen Verunreinigungen sein. Er darf durch die Flüssigkeit nicht angegriffen werden. Bei Verwendung von Glas muß dieses einer hydrolytischen Klasse von höchstens 3 nach DIN 12 111 entsprechen.

5.2 Flüssigkeit

Die Flüssigkeit darf sich bei bestimmungsgemäßer Verwendung nicht zersetzen. Sie muß wasserfrei und frei von störenden Verunreinigungen sein.

6 Kennzeichnung

Röhrenbellenden sollen mit dem Skalenteilungswert gekennzeichnet werden. Bei Angaben in µm/m oder mm/m darf die Einheit weggelassen werden. 1)

Prilog 3:
POSTUPAK ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

SADRŽAJ

1. SVRHA.....	2
2. PODRUČJE PRIMJENE.....	2
3. NORME I REFERENCIJSKI DOKUMENTI	2
4. NAZIVLJE	2
5. KORIŠTENI ETALONI I MJERNI UREĐAJI	3
6. PROVJERA CERTIFIKATA ZA ETALONE I MJERNE UREĐAJE	3
7. PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA	3
8. PRETHODNA ISPITIVANJA	3
9. PROVEDBA UMJERAVANJA.....	4
10. PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI Odstupanja od KUTA	5
11. KRITERIJ ZA OCJENJIVANJE DA LI MJERENJE TREBA PONOVI.....	7
12. SLJEDIVOST	7
Privitak br. 1. RADNA PODLOGA LFSB - WR 180	8
Privitak br. 2. PRIMJER ISPUNJENE.....	9
RADNE PODLOGE LFSB - WR 180	9

1. SVRHA

Svrha ovog dokumenta je razrada postupka mjerenja dimenzionalnih i funkcionalnih značajki kutnih libela.

2. PODRUČJE PRIMJENE

Postupak je namijenjen umjeravanju kutnih libela.

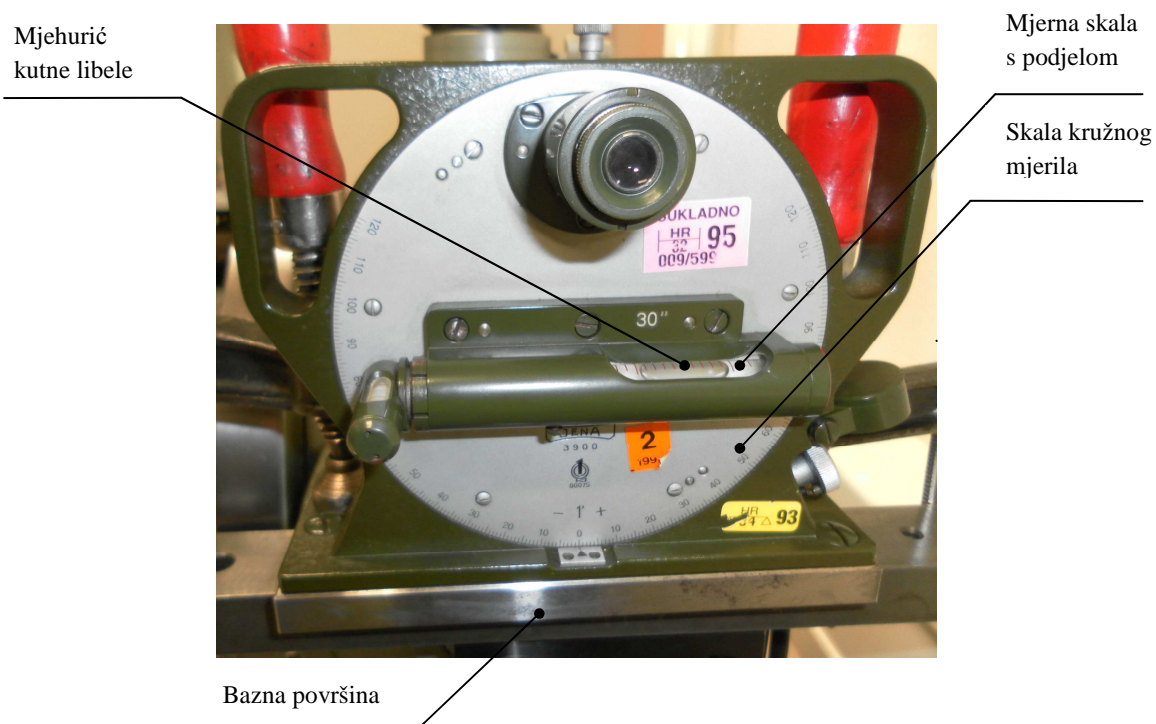
3. NORME I REFERENCIJSKI DOKUMENTI

Za potpuno razumijevanje i primjenu ovog postupka potrebno je koristiti slijedeće norme i referencijske dokumente:

- BS 958: Specification for spirit levels for use in precision engineering;
- DIN 877: Neigungsmessgeräte (Richtwaagen);
- DIN 2276 Teil 1: Neigungsmesseinrichtungen;
- DIN 2276 Teil 2: Neigungsmesseinrichtungen

4. NAZIVLJE

Nazivlje vezano uz sastavne elemente kutne libele, a koje će se koristiti u ovom postupku naznačeno je slikom 1.



Slika 1. Prikaz dijelova kutne libele

5. KORIŠTENI ETALONI I MJERNI UREĐAJI

- Optička diobena glava Zeiss;
- Kutna libela Carl Zeiss 3900;
- Kutna libela Poland PZO Warszawa;
- Nagibni stol;
- Granitni lineal;
- Koincidentna libela Carl Zeiss;
- Sinus lineal Mahr 200 x sin α ;
- Planparalelna granična mjerka dužine 100 mm;
- Trokoordinatni mjerni uređaj Ferranti.

6. PROVJERA CERTIFIKATA ZA ETALONE I MJERNE UREĐAJE

Prije provedbe umjeravanja treba provjeriti valjanost certifikata etalona i mjernih uređaja koji se koriste u postupku umjeravanja (točka 5.).

7. PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA

Mjerne površine treba očistiti, te odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste krpe.

8. PRETHODNA ISPITIVANJA

- Provjeriti postojanje identifikacijskih oznaka (proizvođač, oznaka, mjerno područje, vrijednost podjele);
- Provjeriti vidljivost mjernih skala (crte podjele, brojevi dobro uočljivi);
- Provjeriti stanje mjernih površina;
- Provjeriti vrhunjenje kutne libele (nulti položaj);
- Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu LFSB - WR 180*. U slučaju da mjerilo ne zadovoljava zahtjeve iz točke 8. Postupak umjeravanja se ne provodi.

9. PROVEDBA UMJERAVANJA

9.1. Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

9.2. Utvrđivanje pogreške odstupanja od kuta kutne libele

- Postaviti kutnu libelu na optičku diobenu glavu. Nivelirati u nulti položaj diobenu glavu, a zatim kutnu libelu.
- Odabrati smjer mjerenja [u pozitivnom (+) smjeru skale ili negativnom (-) smjeru skale] u odnosu na skalu kružnog mjerila. Nakon mjerenja jednog smjera, ponoviti mjerenje za drugi smjer.
- Pomicati diobenu glavu i skalu kružnog mjerila kutne libele u koracima od 10° za područje mjerenja kuta od 0° do 90° za odabrani smjer.
- Rezultate mjerenja odstupanja od kuta upisati u *Radnu podlogu LFSB - WR 180*.

9.3. Vrhunjenje kutne libele

- Kutnu libelu postaviti paralelno sa koincidentnom libelom na granitni lineal koji se nalazi na nagibnom stolu.
- Naginjanjem stola postaviti koincidentnu libelu na nulu i provjeriti pokazivanje mjehurića mjerene kutne libele. Ukoliko se utvrdi razlika u pokazivanju, mjerenu kutnu libelu postaviti na nulu.
- U slučaju nemogućnosti namještanja libele, utvrđenu razliku odstupanja upisati u *Radnu podlogu LFSB - WR 180*.

9.4. Utvrđivanje pokazivanja točnosti kuta kutne libele pomoću sinus lineala

- Kutnu libelu postaviti na sinus lineal koji se nalazi na granitnom linealu.
- Ovisno o pozitivnom ili negativnom smjeru skale kružnog mjerila na kraj sinus lineala postaviti planparalelnu graničnu mjerku definirane dužine za određeni kut ispitivanja.
- Utvrditi odstupanje mjehurića kutne libele od nultog položaja za određeni kut ispitivanja.
- Rezultat ispitivanja upisati u *Radnu podlogu LFSB - WR 180*.

9.5. Mjerenje ravnosti bazne površine kutne libele

- Postaviti kutnu libelu na mjernu ploču trookordinatnog mjernog uređaja Ferranti te očitati odabrani broj točaka na mjerenoj baznoj površini kutne libele.
- Rezultate mjerenja softverski obraditi.

9.6. Ispitivanje podjele skale kutne libele

- Kutnu libelu postaviti paralelno sa koincidentom libelom na granitni lineal koji se nalazi na nagibnom stolu. Naginjanjem stola koincidentu libelu postaviti u nulti položaj. Postaviti mjerenu kutnu libelu tako da se mjehurić pomakne (u odabranom smjeru, desno ili lijevo) tako da njegov kraj tangira oznaku (crtu) jedne podjele skale te nulirati koincidentnu libelu.
- Naginjati stol dok mjehurić ne tangira slijedeću uzastopnu oznaku podjele te očitati vrijednost na koincidentnoj libeli.
- Razlika u očitanju je rezultat odstupanja podjele skale libele. Rezultat upisati u *LFSB - WR 180*.

10. PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI Odstupanja od KUTA

10.1. Matematički model mjerenja

$$\alpha_e = \alpha_{ref} + \delta\alpha + \delta\alpha_D + \delta\alpha_K + \delta\alpha_M + \delta\alpha_{KM}$$

pri čemu je:

- α_e - kut umjeravane kutne libele
- α_{ref} - referentni kut optičke diobene glave
- $\delta\alpha$ - izmjerena razlika kuta umjeravane kutne libele i optičke diobene glave
- $\delta\alpha_D$ - korekcija zbog procijene očitavanja na skali nonijusa diobene glave
- $\delta\alpha_K$ - korekcija zbog namještanja skale kutne libele
- $\delta\alpha_M$ - korekcija zbog mehaničkih utjecaja
- $\delta\alpha_{KM}$ - korekcija uslijed nesigurnosti niveliranja ampule (staklene cijevi) s mjehurićem na kutnoj libeli

Tablica 1. prikazuje sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele.

Tablica 1. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku mjerenja odstupanja od kuta kutne libele Carl Zeiss 3900

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti
$u(\alpha_{ref})$	Referentni kut diobene glave	2,5"	1	Normalna	2,5"
$u(\delta\alpha)$	Ponovljivost očitavanja	6,08"	1	Normalna	6,08"
$u(\delta\alpha_D)$	Očitavanje skale nonijusa na diobenoj glavi	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_K)$	Namještanje skale kutne libele	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_M)$	Mehanički utjecaji	5,77"	1	Pravokutna	5,77"
$u(\delta\alpha_{KM})$	Nesigurnost niveliranja ampule s mjehurićem na kutnoj libeli	2,89"	1	Pravokutna	2,89"

Sastavljena standardna nesigurnost mjerene veličine α_E stoga iznosi:

$$u_c(\alpha_e) = 12,31''$$

Pregled svih sastavnica standardnih nesigurnosti, njihovih uzroka, koeficijenata osjetljivosti i doprinosa mjernoj nesigurnosti dan je u tablici 1.

10.2. Proširena mjerna nesigurnost

- Iznos proširene mjerne nesigurnosti dobijemo množenjem iznosa sastavljene standardne mjerne nesigurnosti $u_c(\alpha_e)$ sa faktorom pokrivanja $k = 2$; $P = 95\%$.

$$U = k \cdot u_c(\alpha_e) = 2 \cdot 12,31'' = 24,62''$$

Uz pretpostavku normalne razdiobe i uz faktor pokrivanja $k = 2$ ($P = 95\%$) proširena mjerna nesigurnost iznosi:

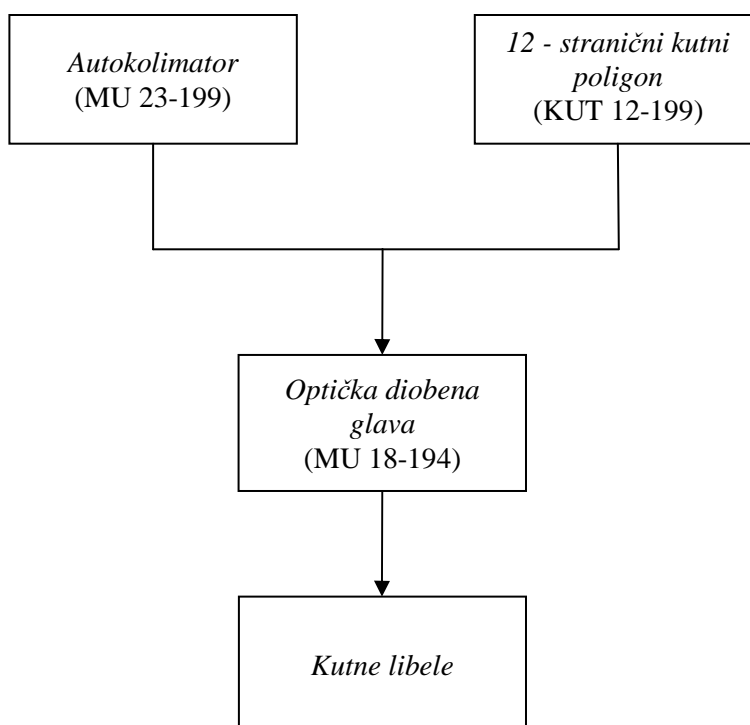
$$U = 24,62''; \quad k = 2, \quad P = 95\%$$

11. KRITERIJ ZA OCJENJIVANJE DA LI MJERENJE TREBA PONOVI TI

- U slučaju da rezultat mjerenja pokazuje značajna odstupanja, mjerenje treba ponoviti.
- Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* treba korisniku mjerila napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

12. SLJEDIVOST

- Na slici 2. prikazan je blok dijagram osiguravanja sljedivosti u postupku utvrđivanja odstupanja od kuta kutnih libela.



Slika 2. Sljedivost u postupku utvrđivanja odstupanja od kuta kutnih libela

Privitak br. 1. RADNA PODLOGA LFSB - WR 180

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Crte i brojevi podjele na mjernoj skali dobro uočljivi	da	ne
8.3	Mjerne površine oštećene	da	ne
8.4	Kutna libela dobro vrhuni	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

9.2 UTVRĐIVANJE POGREŠKE ODSUPANJA OD KUTA KUTNE LIBELE

	Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Standardno odstupanje s_i	Zbirna procjena standarnog odstupanja s_p
			1	2	3	4		
Pozitivan (+) smjer skale	10	350						
	20	340						
	30	330						
	40	320						
	50	310						
	60	300						
	70	290						
	80	280						
	90	270						
Negativan (-) smjer skale	10	10						
	20	20						
	30	30						
	40	40						
	50	50						
	60	60						
	70	70						
	80	80						
	90	90						

9.3 VRHUNJENJE KUTNE LIBELE

Kutnu libelu je moguće namjestiti da vrhuni: **DA** **NE**

Ukoliko to nije moguće upisati razliku odstupanja: _____

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

9.4 POKAZIVANJE TOČNOSTI KUTA KUTNE LIBELE POMOĆU SINUS LINEALA

Mjehurić kutne libele za određeni kut ispitivanja odstupa od nultog položaja: **DA** **NE**

Upisati rezultat ispitivanja: _____

9.5 MJERENJE RAVNOSTI BAZNE POVRŠINE KUTNE LIBELE

Mjerni niz	Broj očitanih točaka mjerenja	Odstupanje od ravnosti [μm]

9.6. ISPITIVANJE PODJELE SKALE KUTNE LIBELE

Pomicanje mjehurića na skali u	desno			Mjerni niz						Aritmetička sredina	
				I		II		III			
				mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"		
	Odstupanja podjele skale kutne libele	1									

Pomicanje mjehurića na skali u	lijevo			Mjerni niz						Aritmetička sredina	
				I		II		III			
				mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"		
	Odstupanja podjele skale kutne libele	1									

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

Za mjerilo izdati:
(nepotrebno precrtati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvješće o mjerenju

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentna mjerna sredstva:	Autokolimator (oznaka MU 23-199), 12 - stranični kutni poligon (oznaka KUT 12-298)	
Radni etaloni:	Sinus lineal Mahr 200 x sin α , Garnitura planparalelnih graničnih mjerki	
Mjerna oprema:	Optička diobena glava "ZEISS" (oznaka MU 18-194)	
	Kutna libela	
	Koincidentna libela	
	Trookordinatni mjerni uređaj Ferranti	
	Nagibni stol	
	Granitni lineal	
Temperatura okoliša:	(20 ± 1) °C	

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

**Privitak br. 2. PRIMJER ISPUNJENE
RADNE PODLOGE LFSB - WR 180**

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv: Optička kutna libela		Mjerno područje: 0 - 360° / 1'	Proizvođač: ZEISS
Oznaka: LIB 2 - 262	Serijski broj: 3900	Korisnik: LFSB	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	<input checked="" type="radio"/> da	<input type="radio"/> ne
8.2	Crte i brojevi podjele na mjernoj skali dobro uočljivi	<input checked="" type="radio"/> da	<input type="radio"/> ne
8.3	Mjerne površine oštećene	<input type="radio"/> da	<input checked="" type="radio"/> ne
8.4	Kutna libela dobro vrhuni	<input checked="" type="radio"/> da	<input type="radio"/> ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja:



DA

NE

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

9.2 UTVRĐIVANJE POGREŠKE ODSUPANJA OD KUTA KUTNE LIBELE

	Nazivni kut [°]	Kut na diobenoj glavi [°]	Broj mjerenja				Standardno odstupanje s_i	Zbirna procjena standardnog odstupanja s_p
			1	2	3	4		
Pozitivan (+) smjer skale	10	350	10,002777°	10,002777°	10,011111°	10,000000°	0,004811°	0,007167205° ili 25,80''
	20	340	20,008333°	20,002778°	20,013888°	20,002778°	0,005319°	
	30	330	30,013889°	30,008333°	30,027778°	30,013889°	0,008295°	
	40	320	40,013889°	40,011111°	40,027778°	40,016667°	0,007305°	
	50	310	50,022222°	50,013889°	50,030556°	50,030556°	0,007979°	
	60	300	60,025000°	60,019444°	60,038889°	60,030556°	0,008295°	
	70	290	70,025000°	70,005556°	70,022222°	70,030556°	0,010758°	
	80	280	80,027778°	80,005556°	80,005556°	80,027778°	0,012830°	
	90	270	90,027778°	90,013889°	90,030556°	90,038889°	0,010393°	
Negativan (-) smjer skale	10	10	9,994444°	9,997222°	9,991667°	9,997222°	0,002660°	
	20	20	19,994444°	19,997222°	19,994444°	19,997222°	0,001604°	
	30	30	29,988889°	29,997222°	29,994444°	29,994444°	0,003495°	
	40	40	39,988889°	40,002778°	39,991667°	39,997222°	0,006159°	
	50	50	49,988889°	49,997222°	49,997222°	50,002778°	0,005727°	
	60	60	59,991667°	60,002778°	59,994444°	60,005556°	0,006612°	
	70	70	69,988889°	70,002778°	69,997222°	70,002778°	0,006564°	
	80	80	79,994444°	80,005556°	80,005556°	80,008333°	0,006159°	
	90	90	90,002778°	90,008333°	90,005556°	90,011111°	0,003586°	

9.3 VRHUNJENJE KUTNE LIBELE

Kutnu libelu je moguće namjestiti da vrhuni:



NE

Ukoliko to nije moguće upisati razliku odstupanja: _____

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

9.4 POKAZIVANJE TOČNOSTI KUTA KUTNE LIBELE POMOĆU SINUS LINEALA

Mjehurić kutne libele za određeni kut ispitivanja odstupa od nultog položaja: DA

NE

Upisati rezultat ispitivanja: _____

9.5 MJERENJE RAVNOSTI BAZNE POVRŠINE KUTNE LIBELE

Mjerni niz	Broj očitanih točaka mjerenja	Odstupanje od ravnosti [μm]
1	32	4,9
2	37	4,0
3	40	4,3

9.6. ISPITIVANJE PODJELE SKALE KUTNE LIBELE

Pomicanje mjehurića na skali u desno			Mjerni niz						Aritmetička sredina
			I		II		III		
			mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
	Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,145	29,91	0,195	40,22	0,190	39,19	36,44"
2		0,308 - 0,145 = 0,163	33,62	0,380 - 0,195 = 0,215	38,16	0,360 - 0,190 = 0,170	35,07	35,62"	
3		0,462 - 0,308 = 0,154	31,76	0,560 - 0,380 = 0,180	37,13	0,535 - 0,360 = 0,175	36,10	35"	
Pomicanje mjehurića na skali u lijevo			Mjerni niz						Aritmetička sredina
			I		II		III		
			mm/m	"	mm/m	"	mm/m	"	
	Odstupanja podjele skale kutne libele	1	0,173	35,68	0,160	33	0,170	35,07	34,58"
2		0,372 - 0,173 = 0,199	41,05	0,357 - 0,160 = 0,197	40,63	0,341 - 0,170 = 0,171	35,27	38,98"	
3		0,570 - 0,372 = 0,198	40,84	0,538 - 0,357= 0,181	37,33	0,556 - 0,371 = 0,185	38,16	38,78"	

RADNA PODLOGA

ZA UMJERAVANJE KUTNIH LIBELA

Za mjerilo izdati:
(nepotrebno precrtati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvješće o mjerenju

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Željko Širanović

Podaci o mjernom postupku:

Referentna mjerna sredstva:	Autokolimator (oznaka MU 23-199), 12 - stranični kutni poligon (oznaka KUT 12-298)	
Radni etaloni:	Sinus lineal Mahr 200 x sin α , Garnitura planparalelnih graničnih mjerki	X
Mjerna oprema:	Optička diobena glava "ZEISS" (oznaka MU 18-194)	X
	Kutna libela	X
	Koincidentna libela	X
	Trookordinatni mjerni uređaj Ferranti	X
	Nagibni stol	X
	Granitni lineal	X
Temperatura okoliša:	(20 ± 1) °C	X

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

LITERATURA

- [1] Federico Dusman, Marijan Brezinščak, Sanjin Mahović, Vedran Mudronja, Dragutin Pavlić, Rudlof Stančec, Nenad Volarević: Mjerenje kutova u vrhunskoj metrologiji i praksi, Zagreb, 1977.
- [2] Sanjin Mahović: Teorija i tehnika mjerenja, predavanja, Zagreb, 2006.
- [3] Zlatko Lasić: Geodetski instrumenti, predavanja, Zagreb, 2007.
- [4] Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Spirit_level
- [5] Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Engineer%27s_spirit_level
- [6] British Standards Institution: Specification for spirit levels for use in precision engineering (BS 958 : 1968), London, 1968.
- [7] Laboratorija za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje (LFSB), web: <http://www.fsb.unizg.hr/zzk/lfsb/>
- [8] TESA, web katalog: http://www.tesabs.ch/FlipBook/EN_flip/index.html#/1/
- [9] WYLER, web katalog : http://www.wylerag.com/pages_eng/e4_2.html
- [10] LEVELDEVELOPMENTS, web katalog :
<http://www.leveldevelopments.com/Index.htm>
- [11] BOCCHI, web katalog: http://www.bocchicontrol.it/eng/prodotti_cat.jsp?id=9
- [12] MITUTOYO, web: http://www.hroberts-di.com/product_details.asp?product=HR960-604, <http://www.mitutoyo.com/TerminalMerchandisingGroup.aspx?group=1439>,
<http://www.mitutoyo.com/TerminalMerchandisingGroup.aspx?group=1438>,
- [13] FOWLER / WYLER, web: <http://www.higherprecision.com/products/levels/niveltronic-electronic-level>
- [14] MICROPLAN, web katalog: <http://www.microplan-group.com/mpg/EN/LE051.html>
- [15] DIN 877: Neigungsmessgeräte (Richtwaagen), 1986.
- [16] DIN 2276 Teil 1: Neigungsmesseinrichtungen, 1986.
- [17] DIN 2276 Teil 2: Neigungsmesseinrichtungen, 1986.
- [18] Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo: Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti, Zagreb, 1995.